



Universidad
Carlos III de Madrid

Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos

PROYECTO FIN DE CARRERA

Ingeniería Industrial

INTEGRACIÓN DE UNA CALDERA SOLAR EN UN CICLO COMBINADO (ISCC)

Autor: Daniel Cerrato Morilla

Tutor: Dr. Sergio Sánchez Delgado

Leganés, septiembre de 2012

PROYECTO FIN DE CARRERA

INTEGRACIÓN DE UNA CALDERA SOLAR EN UN CICLO COMBINADO (ISCC)

Autor: Daniel Cerrato Morilla

Tutor: Sergio Sánchez Delgado

EL TRIBUNAL

Presidente: Pedro Rodríguez Aumente

Secretario: Rubén Ventas Garzón

Vocal: Elena Igualada Villodre

Resumen

Este documento presenta el modelo termodinámico y económico de una Central Termoeléctrica de Ciclo Combinado con Integración Solar, llevándose a cabo esta última mediante un campo solar de colectores cilíndricos-parabólicos. La Central Termoeléctrica está fundamentada en la primera planta de este tipo construida, la Central Termoeléctrica de Kuraymat, Egipto.

Con el motivo de mis prácticas empresariales durante este curso en la empresa Tecnatom S.A., he tenido una relación más directa con el mundo laboral, y en un esfuerzo por entregar al documento un carácter más global y así acercar el ámbito empresarial al ámbito docente, mi tutor del proyecto y yo, decidimos presentar el proyecto dividido en dos grandes bloques.

- Un primer bloque, más relacionado con el mundo universitario, en el que se realiza un análisis más ingenieril, desde el punto de vista del modo de operación y la rentabilidad de la planta. En este bloque, se describen los principales elementos del Ciclo Combinado convencional y las modificaciones necesarias para la integración de la caldera solar. Se resuelve el modelo termodinámico de la instalación, empleando el programa Matlab. Con ello se podrá valorar de modo objetivo el coste de la generación, la eficiencia, el ahorro de combustible y la cantidad de CO₂ no emitido, gracias a la integración de la caldera solar.
- Un segundo bloque, con una visión desde el mundo empresarial, constituido el Plan de Implementación de la Central Termoeléctrica objeto de este proyecto, que determina y describe la naturaleza y la cronología de las tareas necesarias para llevar a cabo la adquisición, el emplazamiento operativo y la evaluación de la Central Termoeléctrica proyectada.

CONTENIDO

Objetivos del proyecto	v
A.Análisis del Ciclo Combinado en función de la superficie del campo solar	
1.Introducción.....	3
1.1 Antecedentes	5
2.Formulación del proyecto de la Central Termoeléctrica ISCC.....	7
2.1 Concepto de Central Termoeléctrica ISCC.....	7
2.2 Descripción de los equipos principales de la Central Termoeléctrica ISCC	8
2.3 Localización	11
3.Energía solar	14
3.1EL colector cilíndrico-parabólico.....	17
3.2 Dimensionamiento del campo solar	21
4.Cálculo Parámetros del Ciclo Combinado	27
4.1Ciclo de gas o Brayton.....	27
4.2 Ciclo de vapor o Rankine	30
5.Resultados.....	35
5.1Caldera Solar.....	35
5.2 Ciclo Combinado	38
6.Análisis Económico.....	43
6.1 Costes Instalaciones	43
6.2 Costes del producto	44
6.3 Marco de la Central Termoeléctrica.....	47
 B.Plan de Implementación de la Central Termoeléctrica ISCC	
1.Introducción.....	53
2. Definición del marco gerencial, técnico y contractual para la implementación de la central termoeléctrica ISCC.	59
3. Adquisición y emplazamiento operativo de la Central Termoeléctrica ISCC.....	69
4. Puesta en uso y evaluación operativa de la Central Termoeléctrica ISCC.....	78
 Conclusiones	83
Trabajos futuros.....	87
Bibliografía	88

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1.1 Localización Centrales Solares Termoeléctricas.....	5
Ilustración 2.1 Diagrama de un Ciclo Combinado con Integración Solar.	7
Ilustración 3.1 Ángulos de altura solar.....	16
Ilustración 3.2. Ángulo de Incidencia.	17
Ilustración 3.3 Detalle elementos del colector cilíndrico-parabólico.	18
Ilustración 3.4 Diferencias sistema de seguimiento solar N-S y E-O.....	19
Ilustración 3.5 Análisis geométrico de un colector parabólico.....	19
Ilustración 4.1 Diagrama Brayton.....	27
Ilustración 4.2 Diagrama Rankine.	30

Lista de Gráficos

Gráfico 1.1 Coste de una Central de Ciclo Combinado al final de su ciclo de vida.	3
Gráfico 5.1a y 5.1b Rendimiento a lo largo de un día y la variación del rendimiento máximo, el correspondiente a las 12h, según el día del año.	35
Gráfico 6.1. Coste generación del Ciclo Combinado convencional.	45
Gráfico 6.3 Coste de generación ISCC.	46
Gráfico 6.2 Coste generación del sistema solar.	46
Gráfico 6.4 Prima necesaria para el campo solar.	48
Gráfico 6.5 Costes Generación con prima régimen especial de 9c€/kWh . ¡Error! Marcador no definido.	
Gráfico 6.6 Derechos de emisión.	49
Gráfico 6.7 Subvención necesaria	49
Gráfico 7.1 Coste de generación ISCC.	

Lista de tablas

Tabla 1. Características estructura y reflectores del colector cilíndrico-parabólico.....	19
Tabla 2 Propiedades del tubo absorbedor y su cubierta.....	20
Tabla 3 Propiedades Aceite Térmico Therminol Vp-1	21
Tabla 5.1 Parámetros del día de diseño del campo solar.....	35
Tabla 6.1. Costes del Ciclo Combinado convencional.	43
Tabla 6. Definición del marco gerencial, técnico y contractual.	56
Tabla 7. Adquisición y emplazamiento operativo.....	57
Tabla 8. Puesta en uso y evaluación operativa	58

Glosario

ISCC	Ciclo Combinado con Integración Solar
CC	Ciclo Combinado
ρ	Reflectancia del espejo
τ	Transmitancia de la cubierta de cristal
α_{abs}	Absortancia del tubo absorbedor
γ	Factor de interceptación
θ	Ángulo de incidencia

δ	Declinación
ϕ	Ángulo cenital
h	Ángulo horario
α	Altura solar
z	Ángulo acimutal

Objetivos del proyecto

Son objetivos del proyecto, los siguientes:

1. *Realizar un modelo del campo solar de colectores cilíndrico-parabólicos que posibilite calcular la energía transferida al fluido de trabajo para todas las condiciones de intensidad e inclinación de la radiación solar.*
2. *Describir funcionalmente y modelar la Central Termoeléctrica ISCC que posibilite analizar los efectos beneficiosos (ahorro de combustible, reducción emisiones CO₂ y gases nocivos) resultantes de la integración de la caldera solar.*
3. *Realizar un análisis económico de la Central Termoeléctrica ISCC*
4. *Determinar el plan que posibilita desarrollar, construir y evaluar operativamente la Central Termoeléctrica.*

A. Análisis del Ciclo Combinado en función de la superficie del campo solar



1. Introducción

En el mundo con una cantidad finita de recursos naturales y una enorme cantidad de energía demandada, comienza a ser cada vez más importante invertir en fuentes de energía renovable, con el fin de satisfacer la demanda energética y a la vez reducir el impacto medio ambiental. Este problema alienta a invertir en este tipo de tecnologías haciendo posible mejorar los sistemas y mejorando su rentabilidad.

Es bien sabido que una Central Termoeléctrica de Ciclo Combinado produce la mayor conversión de la energía térmica en eléctrica, es decir, su rendimiento termodinámico (alrededor del 55%) es mucho mayor que el de cualquiera de las Centrales Termoeléctricas. No obstante el coste del combustible supone aproximadamente el 75% del coste del kWh generado por la central.

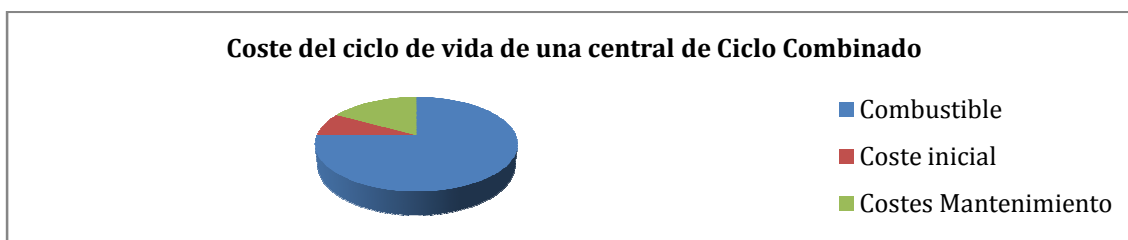


Gráfico 1.1 Muestra el coste de una Central de Ciclo Combinado al final de su ciclo de vida.

Consecuentemente una manera de aprovechar la energía solar, consiste en integrar una caldera solar en un Ciclo Combinado como se realiza en la Central Termoeléctrica de Kuraymat, Egipto (primer ISCC construido) y, así, reducir el coste en combustible, en la medida que sea factible la integración. Se debe hacer notar que el aprovechamiento de la energía solar es máximo precisamente en las horas de mayor demanda de energía eléctrica.

La integración de la caldera solar no solo produce un ahorro en los costes de combustible, sino también disminuye la emisión de gases de efecto invernadero y nocivos y, así, contribuir al abatimiento del cambio climático.

Como ocurre en la introducción de todo sistema innovador, el precio de la caldera solar no resultará muy ventajoso mientras que la capacidad industrial para su fabricación sea baja. Pero no cabe duda que su precio disminuirá en un montante importante, cuando el empleo de las calderas solares este muy extendido y su demanda anime a la industria a aumentar su capacidad fabril de sus componentes y su competitividad.

El modelo de Central Termoeléctrica será incluso muy interesante para los países exportadores de petróleo y que cuentan con una gran irradiación solar (2000kWh/m^2 día o mayor), porque haciendo uso de esta tecnología para satisfacer su demanda interna de energía eléctrica, ahorrarán combustibles fósiles, que podrán exportar a terceros países. Además estos países podrían proporcionar recursos económicos para desarrollar la tecnología ISCC.

Para los análisis que se van a llevar a cabo en el proyecto se ha supuesto que la Central Termoeléctrica ISCC se ubica en España, concretamente en la localidad de Lebrija cerca de Sevilla, para que sea más factible obtener información relacionada con la radiación directa diaria a lo largo de todos los días del año. En principio se quería ubicar el modelo de la en un país exportador de petróleo como Egipto, pero con los actuales problemas políticos de esos países y que no se encontró información gratuita detallada de la insolación, no se hizo.

El concepto de Central Termoeléctrica es actualmente más ventajoso que una Central Termosolar Central Termosolar, debido a que el coste de sobredimensionar un equipo es menor al de un equipo enteramente diseñado para la Central Termosolar.

A pesar de que en nuestro país se van a retirar las primas de energías renovables no inscritas en 2009, (sin esta ayuda los proyectos de Centrales Termosolares serán inviables), en la Unión Europea se está instaurando un nuevo marco legal en cuanto a las emisiones de gases de efecto invernadero. Por el momento estamos en la fase 2 del nuevo plan con el que se pretende reducir las emisiones y abatir con el cambio climático. En el año 2013 entrará en vigor la fase 3 del proyecto, la que durará 8 años e iniciará el comercio de derechos de emisión de las empresas. El cual consiste en una asignación de derechos de emisión, que al final del año se deben entregar para cubrir sus emisiones. Si no se cubren los derechos de emisión las empresas serán penalizadas, si por el contrario lo cubren podrán guardarse estos derechos o subastarlas en el mercado de derechos de emisión. Con este nuevo sistema se pretende que las empresas con precios más bajos para reducir sus emisiones inviertan para reducirlas todo lo posible y después puedan comerciar con sus derechos con lo que rentabilicen estas inversiones.

Se completa la formulación del proyecto de la Central Termoeléctrica con su correspondiente plan de implementación, que determina y describe la naturaleza y la cronología de todas las tareas a llevar a cabo en relación con la adquisición, el emplazamiento operativo y la evaluación experimental del ISCC objeto del proyecto.

La implementación del ISCC se llevara a cabo en tres fases consecutivas, a saber:

- La primera fase, "Definición del Marco Gerencial, Técnico y Contractual de la Implementación de la Central Termoeléctrica ISCC",
- La segunda fase "Adquisición y Emplazamiento Operativo de la Central Termoeléctrica ISCC
- La tercera fase, " Puesta en Uso y Evaluación Operativa de la Central Termoeléctrica ISCC

1.1 Antecedentes

En la actualidad existen treinta y cinco Centrales Termosolares conectadas a la red, en su mayoría se encuentran ubicadas en Andalucía por tener una situación privilegiada en cuanto a irradiación, con una potencia instalada de 1581 MW. Hay diecisiete plantas más en construcción y ocho más pre-asignadas por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

LOCALIZACIÓN DE CENTRALES SOLARES TERMOÉLECTRICAS EN ESPAÑA



Ilustración 1.1 Localización Centrales Solares Termoeléctricas.

En este tipo de tecnologías es justo hablar de nuestro país, pues nuestras empresas son punteras en este tipo de tecnología, gracias a nuestra situación privilegiada, y a la reforma que hubo en el año 1997 en cuanto a las energías del régimen especial. Sin olvidar que existen más Centrales Termoeléctricas alrededor del mundo.

Se puede empezar por mencionar a la Plataforma Solar de Almería, que surgió ante una iniciativa de la Agencia Internacional de la Energía. En paralelo el gobierno español se involucro en un proyecto adicional de carácter totalmente nacional en el mismo lugar, la Central Electro Solar de Almería.

Estos dos proyectos se iniciaron para comprobar experimentalmente la viabilidad técnica de la generación de electricidad a partir de radiación solar directa. Ambos tenían una potencia inferior al megavatio. El de la Agencia Internacional de la Energía SSPS (Small Solar Power System) se trataba de tecnología de canales parabólicos. Se aprovecho la

oportunidad para implantar dos tipos de tecnologías en los campos solares de esta para ensayar el seguimiento en un solo eje, y en dos ejes.

El segundo proyecto SSPS era de tipo receptor central, con la curiosidad de que la máquina de vapor empleada era un motor alternativo de vapor de agua, aunque la mayor importancia se debió al ensayar el receptor central.

Hoy en día las plantas que se realizan son del orden de decenas de MW. Las primeras PS10 y PS20 de 10 y 20 MW respectivamente, la mayoría de las restantes tienen una potencia de 50 MW, esto se debe a las primas que reciben las Centrales Energéticas de *régimen especial* están limitadas a esta potencia.

En su mayoría las plantas de este tipo construidas usan tecnología de canales cilindro-parabólicos, y solo unas pocas de receptor central. Esto se debe a la mayor complejidad de este tipo de tecnología.

En cuanto a la Integración Solar en Ciclos Combinados existen tres plantas situadas todas ellas en el continente africano.

1. La planta híbrida Ain Beni Mathar en Marruecos, Ciclo Combinado de 470 MW de los cuales 20 MW provienen de un campo de canales parabólicos.
2. La planta híbrida Hassi R'mel en Argelia con un aporte solar al Ciclo Combinado de 25MW térmicos de vapor, también tecnología de colectores cilindro-parabólicos.
3. Por último la planta de Kuraymat, en Egipto, Ciclo Combinado de 150 MW con aporte solar de 40 MW térmicos de un campo canal parabólico similar a los anteriores, esta última ha sido referencia para este proyecto.



Ilustración 1.2. Fotografía del ISCC de Kuraymat, Egipto.

2. Formulación del proyecto de la Central Termoeléctrica ISCC

2.1 Concepto de Central Termoeléctrica ISCC

La Central Termoeléctrica ISCC resulta de la integración de una caldera solar en un Ciclo Combinado, esquemáticamente se representa en la *Ilustración 2.1*.

El Ciclo Combinado está constituido por un turbogenerador de gas (fundamentalmente compresor, cámara de combustión, turbina de expansión y alternador), una caldera de recuperación de calor HRSG (Heat Recovery Steam Generator) que produce vapor empleando los gases de escape del turbogenerador; el turboalternador de vapor, el condensador y el circuito de agua de alimentación (bombas de condensado, calentadores de agua de alimentación, desaireador, bombas de alimentación y válvulas) a la HRSG.

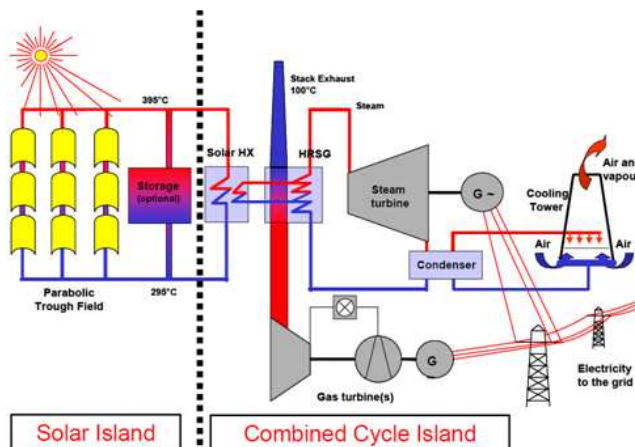


Ilustración 2.1 Diagrama de un Ciclo Combinado con Integración Solar.

La caldera solar constituida por colectores cilíndrico-parabólicos que calientan un aceite térmico hasta una temperatura con la que se produce vapor saturado, que se envía a la HRSG para ser sobrecalentado y emplea en la turbina de vapor. El hecho de no producirse vapor sobrecalentado en la caldera solar se debe a que hay un límite en la temperatura máxima del aceite térmico, para que este no se degrade.

La integración de la caldera solar obligará a modificar la capacidad nominal de la turbina de vapor. Asimismo, es necesario modificar el diseño funcional de la Central Termoeléctrica. También se necesita aumentar la capacidad del condensador la capacidad del transformador elevador de tensión, el parque de maniobra y la caldera de recuperación HRSG de la Central Termoeléctrica.

2.2 Descripción de los equipos principales de la Central Termoeléctrica ISCC

Los equipos principales de la Central Termoeléctrica ISCC, que empleará gas natural como combustible, son: la turbina de gas, la unidad recuperadora de calor, la turbina de vapor, el condensador y la caldera solar.

La **turbina de gas** de General Electric modelo MS6111FA tienen una capacidad nominal de 77.1 MW en ciclo simple y puede alcanzar 118,4 MW de potencia neta de la planta en Ciclo Combinado. El ratio de presión es 15,8:1. Genera un calor de 10170 KJ/kWh. El gasto másico de la turbina es de 212 kg/s de los cuales aproximadamente 5 kg corresponden a gas y el resto aire. La temperatura de escape de los gases es de 603°C y estos tienen una energía de 135 MWth.

Cuenta con un sistema de combustión bajo en óxidos de nitrógeno “Dry Low NOx” el cual reduce por debajo de 15 ppm las emisiones de estos cuando quema gas natural. Tiene una vida media de más de 2.500.000 horas de funcionamiento, ofrece una operación flexible en ambientes duros. Cuenta con salida axial para los gases de escape. Este modelo cuenta con 18 etapas de compresión y 3 de expansión. Su tiempo de arranque es inferior a los 25 minutos.



Ilustración 2.3. Imagen de la turbina de gas MS6111FA, de General Electric.

Utiliza un sistema cerrado de agua glicol para enfriar el aceite de lubricación y la refrigeración del alternador eléctrico es por hidrogeno, a su vez refrigerado por un sistema cerrado de agua.

La **turbina de vapor** SIEMENS modelo SST 600 es una turbina de vapor de carcasa simple, diseñada para ser acoplada directamente a un generador de hasta 150 MW, la alta gama de opciones de personalización la proporcionan una alta eficiencia y flexibilidad, así como un arranque rápido. Puede ser empleada para aplicaciones de condensado o de presión de salida. Está prediseñada en módulos para lograr los parámetros requeridos en una sola unidad. Consta de una pequeña extracción que se utiliza para el sellado de los cierres mecánicos cuando la turbina esta en operación.

Cubre un amplio abanico de posibilidades en cuanto a sus aplicaciones, tales como: plantas de biomasa, cogeneración, plantas de Ciclo Combinado, plantas de concentración solar (CSP)...

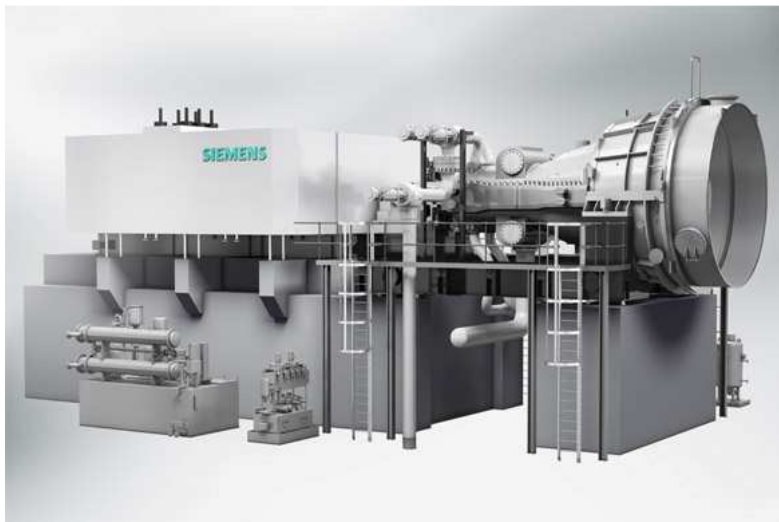


Ilustración 2.4. Imagen de la turbina de vapor SST600 de SIEMENS.

Sus datos técnicos son:

- Generación de hasta 150 MW a 50 o 60 Hz
- Velocidad de giro entre 3000 y 18000rpm
- Condiciones del vapor:
 - Presión hasta 165bar
 - Temperatura hasta 565°C
- Hasta 2 extracciones controladas, de hasta 72 bar de presión

Entre sus opciones de diseño se encuentran:

- Control remoto
- Reducido tiempo de arranque
- Alta velocidad para cambios de carga
- Disponibilidad mejorada debido a mantenimiento simplificado
- Diseño compacto para simplificar el transporte, etc....

La **caldera de recuperación (HRSG)** cuenta con dos niveles de presión (HP y LP). El diseño de la caldera HRSG incluye: dos economizadores de baja presión, un evaporador de baja presión, un calderín de baja presión y un recalentador también de baja presión, y en el lado de alta presión cuenta con tres economizadores, un evaporador, un calderín y 2 sobrecalentadores.

En condiciones de plena carga la unidad HRSG recibe 208kg/s de gases de escape de la turbina de gas a una temperatura de 600°C aproximadamente. Estos mismos gases abandonan la caldera de recuperación a unos 100°C.

La unidad no cuenta con post combustión, sin embargo se le aporta calor adicional desde el campo solar. El vapor generado por este se introduce en el calderín de alta presión. Existiendo una limitación en la caldera de recuperación que como máximo permite reducir el caudal de su evaporador a un 30% de su capacidad de diseño.

Generador de vapor solar. El generador de vapor solar consta de un campo de colectores cilíndrico parabólicos y un intercambiador de calor en el que se genera el vapor de agua, y es enviado al calderín del ciclo de potencia. El campo solar está dispuesto en lazos en paralelo, cuenta con varias secciones con válvulas de control diferentes entre las secciones del mismo. Cuenta con sus propias bombas para impulsar el aceite térmico a través de la instalación. También cuenta con un vaso de expansión y un sistema de protección contra las heladas, que constan de una caldera de gas natural propia y bombas para evitar el congelamiento. Además incorpora un sistema de seguimiento solar de un eje que minimiza el ángulo de incidencia a lo largo del día, aumentando el rendimiento.



Ilustración 2.5. Fotografía de un Colector Cilindro-Parabólico.

La planta además cuenta con una **torre de refrigeración** de tiro forzado para evacuar el calor del condensador, un **desaireador** para evitar la corrosión en los conductos reduciendo el oxígeno disuelto en el agua y el vapor entre 7 y 10 ppb y un **sistema de tratamiento de aguas** para desmineralizar el agua que será empleada tanto en el sistema de refrigeración como para limpiar los espejos del campo del solar. Este último tiene una capacidad de unos 300 m³/h.

También cuenta con una **planta auxiliar de vapor** que se utiliza para el sellado de cierres mecánicos durante el arranque de la turbina.

El **sistema eléctrico** conectado a las turbinas produce la electricidad a 11kv de tensión, después esta tensión es elevada a 66kv en los transformadores para su transmisión y distribución comercial.

2.3 Localización

En una planta de energía, al igual que cualquier otro tipo de factoría existen unas características a tener siempre en cuenta:

Un suministro de las materias primas a un precio competitivo;

Acceso de los mercados a sus productos; y

Medios para deshacerse de cualquier tipo emisión o subproducto.

La materia prima para generar la electricidad en esta planta de energía es el gas natural y la radiación directa del Sol (esta última de gran importancia en este tipo de planta de

energía). La electricidad, el producto principal, necesita su propio acceso a los centros de consumo a través del sistema de transmisión. Para emisiones de calor necesitara enormes cantidades de agua, por razones de costes deberá estar próxima. Los productos de la combustión, en forma de gases deberán dispersarse sin contravenir las políticas de aire limpio o causar polución atmosférica.

Estas consideraciones son la base de la selección y aplicación de los requerimientos del área y también las instalaciones requeridas alrededor.

Radiación solar y climatología

Como es lógico uno de los factores clave para la tecnología de esta planta es la radiación solar directa recibida, pues esta es la energía que recogen los colectores cilíndrico-parabólicos para generar vapor en la caldera solar. La radiación solar depende principalmente de la latitud, cuanto más cerca del ecuador mayor, en el siguiente mapa se muestra la radiación directa media en el globo terrestre.

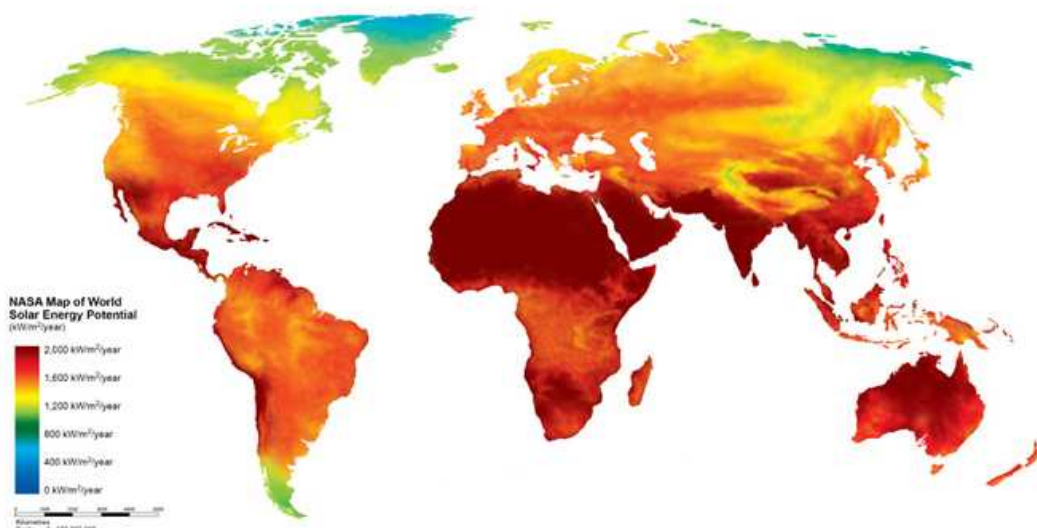


Ilustración 2.6. Imagen Radiación Solar Directa en el Mundo.

La planta termoeléctrica proyectada estará ubicada en la localidad de Lebrija cerca de Sevilla, concretamente a 36.917° de latitud y -6.067° de longitud. Como se observa en la imagen anterior la insolación que se registra es muy alta, de unos $2000 \text{ kWh/m}^2 \text{ año}$. Además en esta ubicación nos aseguramos un mayor número de horas de utilización de la energía solar.

Una primera aproximación de la irradiación de la zona se puede obtener de la página web de la NASA. Obteniéndose los siguientes datos:

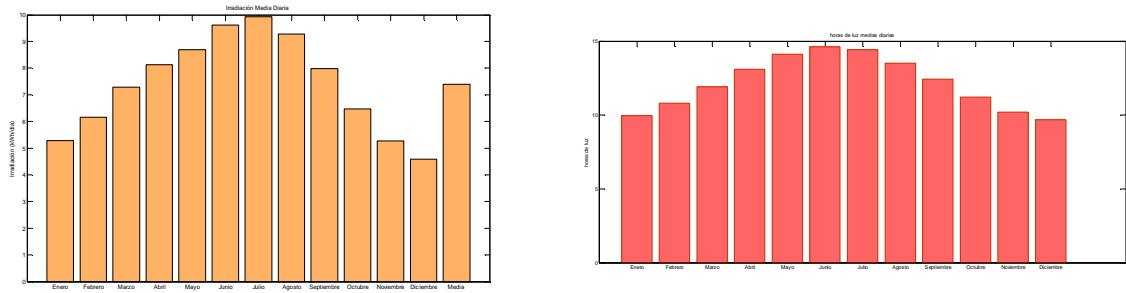


Ilustración 2.7a y 2.7b. Irradiación media diaria mensual y horas de luz media diaria mensual.

Estos datos son las medias de los datos registrados durante 22 años. Para la optimización del caso se emplean datos diarios de la agencia andaluza de la energía.

Sin embargo estos datos medios recogidos durante años no reflejan las probabilidades de precipitaciones, por tanto, los datos se ponderarán empleando los datos del siguiente gráfico de probabilidad de lluvia.

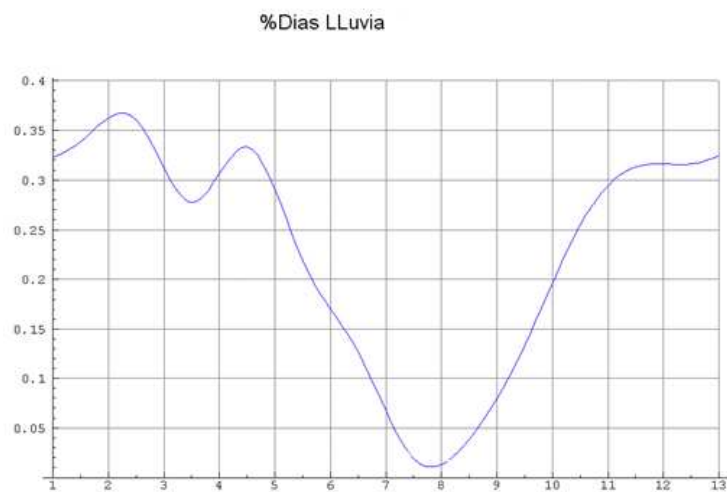


Ilustración 2.8. Probabilidad de Precipitaciones Mensual

3. Energía solar

Desde hace décadas se empezó a investigar con el fin de poder aprovechar la gran cantidad de energía proveniente del Sol que llega a nuestro planeta cada día. Como punto de partida, lo más razonable es hacer una descripción de la fuente de esta energía, el Sol, y una descripción de su movimiento a través del cielo.

La energía total que irradia el Sol es 3.8×10^{26} MW, ó 63 MW/m^2 de superficie solar. Esta energía irradia en todas direcciones. De esta radiación emitida al planeta Tierra llega una pequeña fracción 1.7×10^{14} kW. El Sol es una esfera gaseosa de $1.39 \times 10^9 \text{ m}$ de diámetro, y se encuentra a una distancia cercana a $1.5 \times 10^{11} \text{ m}$ de la Tierra. Esto hace que un observador en la Tierra vea el Sol como un disco con un ángulo de $32'$. Este dato es importante en muchas aplicaciones, especialmente en los concentradores ópticos a la hora de analizar su comportamiento.

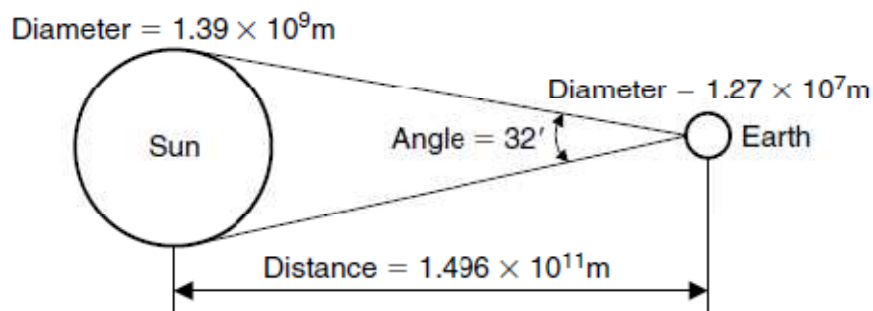


Ilustración 3.1 Imagen del ángulo del cielo que cubre el Sol visto desde la Tierra.

Además se debe contar con que la trayectoria del Sol a través del cielo varía a lo largo del año. La variación mayor se debe a la declinación de la Tierra, que es el ángulo que forma la dirección Norte-Sur de la Tierra con el plano de la órbita de la misma. Este ángulo varía 47° a lo largo del año originando las estaciones.

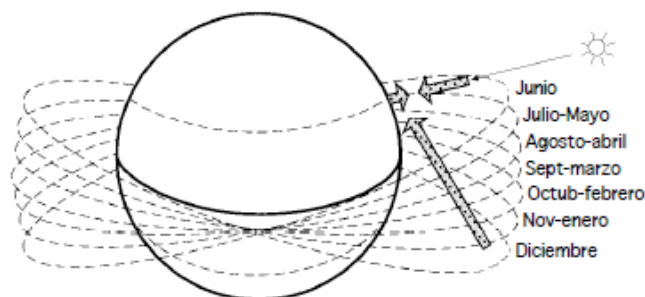


Ilustración 3.2. Imagen de la trayectoria del Sol a lo largo del año.

Existen expresiones que nos permiten conocer la trayectoria del Sol durante todo el año, siendo imprescindible el estudio de esta para los sistemas de captación de energía solar. Para los sistemas más simples se escogerán una orientación y un ángulo de inclinación de los colectores óptimo para todo el año. En sistemas de medias y altas temperaturas la

orientación juega un papel fundamental, existiendo sistemas de seguimiento del Sol en varios ejes. Para conocer la trayectoria del Sol es necesario definir los siguientes ángulos solares.

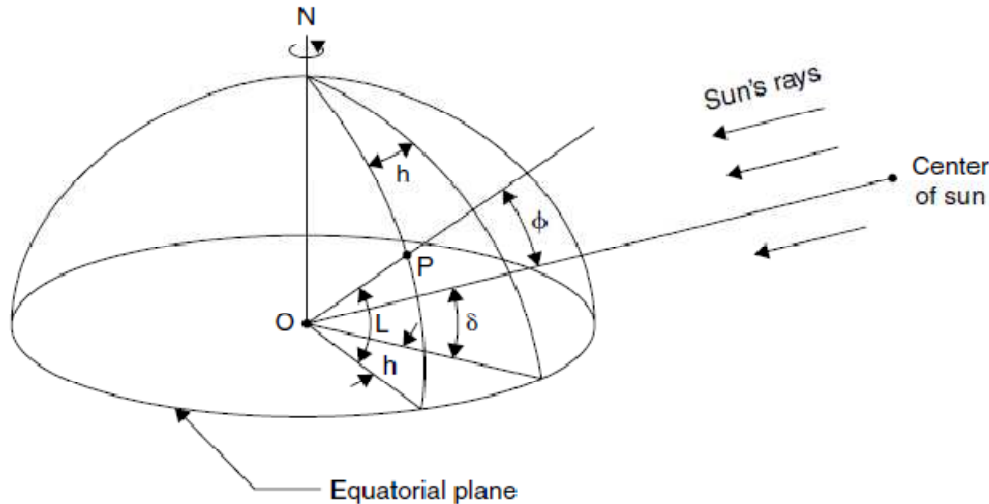


Ilustración 3.3. Ángulos posición del Sol.

- La **declinación (δ)**, es el ángulo que forma el eje de rotación de la Tierra, con el vector normal al plano de la elipse que describe la órbita de la Tierra alrededor del Sol. Este ángulo varía entre $\pm 23^\circ 45'$ a lo largo del año. La declinación al Norte del Ecuador se considera positiva.

La declinación se puede calcular con la siguiente expresión:

$$\delta = 23'45 \text{sen} \left[\frac{360}{365} (284 + N) \right]^\circ \quad (3.1)$$

Siendo N el número del día del año.

- El **ángulo horario (h)**, es el desplazamiento angular del Sol, respecto al mediodía, que es el instante en que el Sol se encuentra más alto en el cielo y se corresponde con un ángulo cenital solar mínimo, es decir, con un ángulo horario igual a 0. Cada hora es igual a 15° de longitud, tomando un valor (+) por las tardes y (-) por las mañanas.

$$h = (AST - 12) \cdot 15^\circ \quad (3.2)$$

siendo AST el formato de la hora (apparent solar time).

- El **ángulo cenital solar (ϕ)**, es el que forma la radiación directa del Sol y la vertical del lugar, en un punto cualquiera de la Tierra. Este ángulo varía continuamente a lo largo del día y depende de la latitud del lugar y de la declinación.

La expresión para el ángulo cenital es:

$$\cos(\phi) = \text{sen}(L) \cdot \text{sen}(\delta) + \cos(L) \cos(\delta) \cos(h) \quad (3.2)$$

Siendo L la latitud local.

Existe un ángulo complementario al ángulo cenital, conocido como altura solar (α), siendo $\alpha + \phi = 90^\circ$.

El ángulo acimutal (z), es el ángulo que forma la componente horizontal de la radiación solar con la dirección Norte-Sur. Se mide sobre el plano horizontal que pase por el lugar.

La expresión del ángulo acimutal es:

$$\text{sen}(z) = \frac{\cos(\delta) \text{sen}(h)}{\cos(\alpha)} \quad (3.3)$$

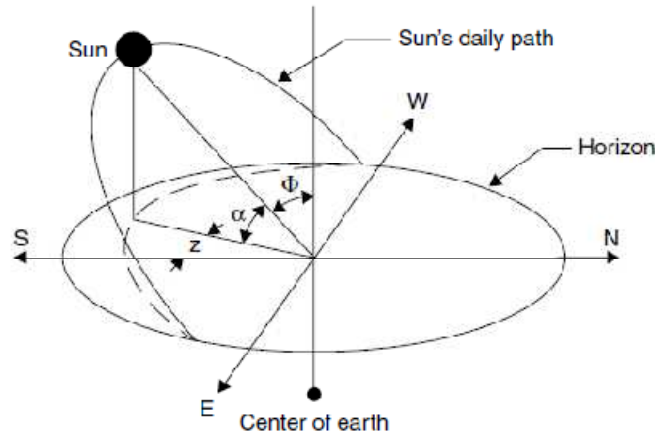


Ilustración 3.4 Ángulos de altura solar.

El ángulo de incidencia (θ), es el ángulo que forman los rayos del sol y la normal de una superficie. Para un plano horizontal, el ángulo de incidencia θ y el ángulo cenital ϕ es el mismo. Se puede conocer este ángulo según la expresión:

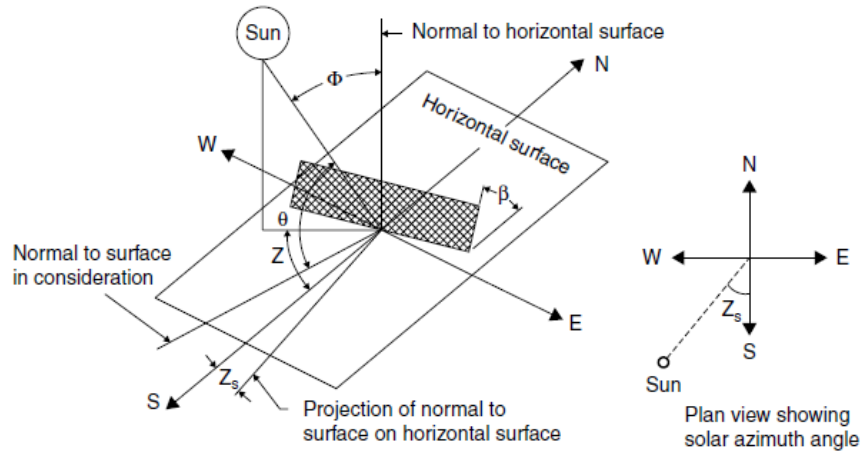


Ilustración 3.5. Ángulo de Incidencia.

$$\begin{aligned} \cos(\theta) = & \sin(L)\sin(\delta)\cos(\beta) - \cos(L)\sin(\delta)\sin(\beta)\cos(Z_s) + \\ & \cos(L)\cos(\delta)\cos(h)\cos(\beta) + \sin(L)\cos(\delta)\cos(h)\sin(\beta)\cos(Z_s) + \\ & \cos(\delta)\sin(h)\sin(\beta)\sin(Z_s) \end{aligned} \quad (3.4)$$

Donde:

β : ángulo de inclinación de la superficie respecto a la horizontal.

Z_s : ángulo acimutal de la superficie, el ángulo entre la normal de la superficie y la dirección Sur. Dirección Oeste se considera positiva.

La expresión anterior se ve simplificada para colectores con sistemas de seguimiento, más adelante se verá el caso para el sistema elegido.

3.1 EL colector cilíndrico-parabólico

El principal objetivo de la energía termosolar es capturar la radiación que llega desde el Sol para calentar un fluido de trabajo y realizar un ciclo de potencia con el mismo. Sin embargo esta energía nos llega muy poco concentrada, por lo que se necesitan grandes superficies para que nos sea útil.

Para capturar esta energía se emplean concentradores, estos utilizan sistemas ópticos reflectores y en algunos casos refractores para aumentar la intensidad de la radiación solar que se dirige sobre una superficie receptora que la absorbe.

Cuanto mayor sea el flujo solar sobre esta superficie, menor será la zona necesaria para conseguir el mismo efecto térmico sobre un fluido, lo que supone una reducción de las

pérdidas térmicas. Sin embargo este efecto no es gratuito, ya que funciona únicamente con radiación directa (no se aprovecha la difusa) y aparecen pérdidas ópticas por defectos de enfoque y dirección.

Una característica fundamental de estos colectores es el llamado índice de concentración A_a/A_r , que es la relación entre la superficie de abertura del concentrador y el área de la superficie receptora.



Ilustración 3.6Detalle elementos del colector cilíndrico-parabólico.

Colector cilíndrico-parabólico

Son sistemas con estructuras ligeras y una tecnología de bajo coste para aplicaciones de hasta 400°C, su rango de temperaturas de funcionamiento está entre los 50 y 400°C.

Se fabrican doblando hojas de material reflectivo en formas parabólicas que reflejan la luz hacia el tubo concentrador. Este es un tubo de metal oscuro, cubierto con un cristal para reducir las pérdidas de calor, esta a lo largo de todo el tubo concentrador. Por este tubo circula un fluido convirtiendo la radiación en calor útil. Estos dispositivos cuentan con un sistema de seguimiento del Sol de un único eje. Pudiéndose escoger entre dos orientaciones, la Norte-Sur con seguimiento Este-Oeste del Sol (horario) o la orientación Este-Oeste con seguimiento Norte-Sur (cenital). La orientación Norte-Sur recoge la radiación a lo largo de todo el día, teniendo un mayor rendimiento en los meses de verano. Esta orientación capta algo más energía a lo largo del año, sin embargo en verano recoge mucha más energía que en invierno, mientras que la orientación Este-Oeste consigue un nivel de energía más constante a lo largo del año.

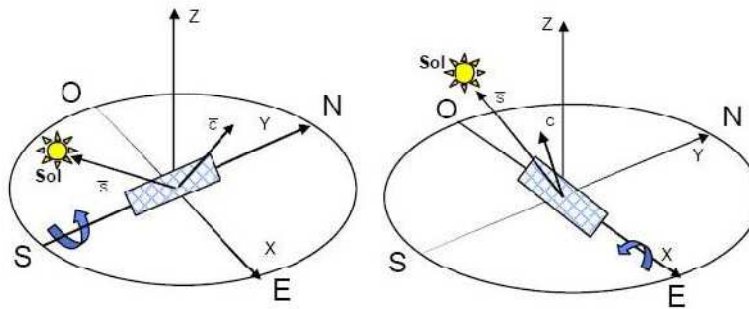


Ilustración 3.7 Diferencias sistema de seguimiento solar N-S y E-O.

La geometría de estos dispositivos se puede ver en la siguiente imagen:

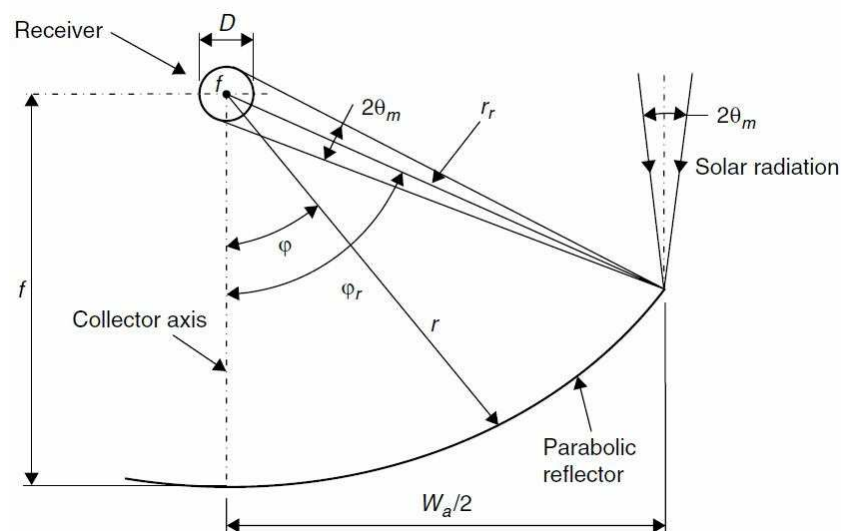


Ilustración 3.8 Análisis geométrico de un colector parabólico.

El modelo de Colector Cilíndrico-Parabólico escogido para este proyecto, es el EUROTHROUGH SKALET150, estructura diseñada por una agrupación de empresas europeas. En la siguiente tabla podemos encontrar sus características geométricas:

Apertura (m)	5,77
Distancia focal (m)	1,71
Longitud (m)	148,5
Nº de módulos	12
Longitud del módulo (m)	12,37
Factor de concentración	82
Área de apertura (m2)	817,5
Peso específico (kg/m2)	28
Eficiencia óptica pico (%)	80

Tabla 1. Características estructura y reflectores del colector cilíndrico-parabólico.

El tubo concentrador escogido es el modelo UVAC 2010 (SIEMENS), sus características ópticas y geométricas son:

Longitud (mm)	4060
Diámetro exterior (mm)	70
Diámetro interior (mm)	64
Emisividad	0,09
Coeficiente de absorción	0,96
Conductividad térmica (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	54
Diámetro exterior de la carcasa de cristal (mm)	115
Diámetro interior de la carcasa de cristal (mm)	109
Transmitancia de la carcasa de cristal	0,965

Tabla 2 Propiedades del tubo absorbedor y su cubierta.

Por último, también se debe escoger el fluido que circulará por los tubos absorbedores, que debido a las altas temperaturas que se alcanzan suele ser algún aceite térmico. En concreto el tipo de aceite sintético que se empleará es el Therminol VP-1 el cual no tiene problemas de degradación por debajo de los 400°C y con punto de fusión a los 12.7°C, debido a lo cual el campo solar debe de estar previsto de sistemas de recirculación y calentamiento del mismo con tal de no dañar los equipos.

Este aceite tiene excelentes propiedades de transferencia de calor. Es un fluido sintético de transferencia térmica que combina una excepcional estabilidad y baja viscosidad, para un funcionamiento eficiente, confiable y uniforme, en un amplio rango de temperatura de 12° C a 400° C. Therminol VP-1 tiene la estabilidad térmica más alta de todos los fluidos de calor orgánicos.

Según hoja de características:

Composición	Mezcla Eutéctica 26,5% Binefil e 73,5% Óxido de Difenila
Punto de cristalización	12 °C
Temperatura de auto ignición (ASTM D-2155)	621 °C
Viscosidad Cinemática, a 350 °C	0,1781 · 10 ⁻³ N/m ² ·s
Densidad a 300 °C	815 kg/m ³
Gravedad específica (60 °F/60 °F)	1.069
Coeficiente de expansión térmica a 200 °C	0.000979/°C
Volumen de contracción al congelarse	6.27%
Volumen de expansión al descongelarse	6.69%
Calor de Fusión	97.3 kJ/kg
Calor específico a 360 °C	2'48 kJ/kg

Temperatura máxima de utilización	400 °C
Intervalo óptimo de temperatura (fase líquida)	12-400 °C
Conductividad térmica 350°C	0'0867 W/m K

Tabla 3 Propiedades Aceite Térmico Therminol Vp-1

3.2 Dimensionamiento del campo solar

Para el propósito de este proyecto se debe calcular la energía térmica que se puede obtener de cada lazo de colectores, de este modo se podrá hacer un análisis si el proyecto es rentable, y a que tamaño del campo solar produce mayores beneficios.

En este tipo de aplicaciones se selecciona un día claro de los meses de máxima radiación, puesto que los colectores cilindro-parabólicos encarecen bastante la instalación y se deben aprovechar al máximo, para dimensionar la instalación. Se ha escogido un día claro de julio al mediodía solar (máxima irradiación) para dimensionar la instalación, cuya radiación solar directa aproximadamente es 810 W/m² (G₀).

El primer paso será calcular la *eficiencia óptica del colector*.

La **eficiencia óptica del colector** se define como el ratio entre la energía absorbida por el absorbedor y la energía incidente total sobre la superficie del colector. Esta depende de propiedades ópticas de los materiales, geometría del colector y las imperfecciones a la hora de construir el colector, siendo la expresión para calcularlo la siguiente:

$$\eta_{opt} = \rho \cdot \tau \cdot \alpha \cdot \gamma \cdot \cos(\theta) \quad (3.5)$$

donde:

ρ : reflectancia del espejo	0'91
τ : transmitancia de la cubierta de cristal	0'965
α : absortancia del tubo absorbedor	0'96
γ : factor de interceptación	0'95
θ : ángulo de incidencia	Se calculará cada hora

Se ha empleado un sistema de seguimiento solar en la dirección Este-Oeste, la ecuación para el ángulo de incidencia de los colectores será:

$$\cos \theta = \sin(\delta) \sin(L) + \cos(\delta) \cos(h) \cos(L) \quad (3.6)$$

Análisis térmico del colector

Una vez conocida la energía disponible en el sistema, deberemos calcular las pérdidas térmicas de los colectores. Se pueden definir como:

$$U_p = h_{conv} + h_r + h_{cond} \quad (3.7)$$

Siendo estos los coeficientes de convección, radiación y conducción respectivamente.

El coeficiente de radiación linealizado se puede estimar según:

$$h_r = 4\sigma\epsilon T_{abs}^3 \quad (3.8)$$

donde:

σ : es la constante de Stefan-Boltzamm ($5'67 \text{ W/m}^2\text{K}^4$)

ϵ : es la emisividad

T_{abs} : la temperatura del tubo absorbedor (K)

Para calcular el coeficiente de convección debemos conocer el número de Nusselt, que a su vez es función del número de Reynolds, y calcular el número de Prandtl.

Para $1.000 < Re < 50.000$

$$Nu = 0'3(Re)^{0.6} \quad (3.9)$$

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (3.10)$$

$$Pr = \frac{c_p \mu}{k} \quad (3.11)$$

donde:

ρ : densidad del fluido (kg/m^3)

μ : viscosidad cinemática (m^2/s)

v : velocidad del fluido (m/s)

D : diámetro (m)

c_p : calor específico (J/kg K)

k : conductividad térmica fluido (W/m K)

Se supondrá una velocidad del viento de 2m/s para modelar las pérdidas de convección.

Normalmente, se reducen las pérdidas de calor haciendo vacío entre la cubierta de cristal y el tubo absorbedor, pudiéndose eliminar el término de la conducción. Operándose la ecuación (3.7) y separando los efectos de radiación de la cubierta y el tubo, llegamos a la siguiente expresión:

$$U_p = \left[\frac{A_{abs}}{(h_{conv} + h_{r,cub-amb})A_{cub}} + \frac{1}{h_{r,abs-cub}} \right]^{-1} \quad (3.12)$$

donde:

A_{abs} : área externa del tubo absorbedor (m^2)

A_{cub} : área externa cubierta de cristal (m^2)

$h_{r,cub-amb}$: se puede estimar según la expresión (3.8) ($W/m^2 K$)

$h_{r,abs-cub}$: coeficiente de radiación linealizado del tubo absorbedor a la cubierta, dado por la ecuación ($W/m^2 K$):

$$h_{r,abs-cub} = \frac{\sigma(T_{abs}^2 - T_{cub}^2)(T_{abs} - T_{cub})}{\frac{1}{\epsilon_{abs}} + \frac{A_{abs}}{A_{cub}} \left(\frac{1}{\epsilon_{cub}} - 1 \right)} \quad (3.13)$$

En las ecuaciones anteriores se requiere conocer el valor de T_{cub} . Esta temperatura está entre la temperatura ambiente y la temperatura del tubo absorbedor. Si ignoramos la radiación absorbida se puede obtener esta temperatura del siguiente balance.

$$A_{cub}(h_{r,cub-amb} + h_{conv})(T_c - T_a) = A_r h_{r,abs-cub}(T_{abs} - T_{cub}) \quad (3.14)$$

Resolvemos la ecuación (3.14) para T_{cub} obteniendo:

$$T_{cub} = \frac{A_{abs} h_{r,abs-cub} T_{abs} + A_{cub} (h_{r,cub-amb} + h_{conv}) T_{amb}}{A_{abs} h_{r,abs-cub} + A_{cub} (h_{r,cub-amb} + h_{conv})} \quad (3.15)$$

El procedimiento para encontrar la temperatura será estimar el coeficiente de pérdidas U_p considerando un valor T_{cub} aleatorio, cercano a la temperatura ambiente, y después calcular el valor de la temperatura de la cubierta, si este valor difiere iteramos hasta llegar a la solución.

El siguiente paso será estimar el coeficiente global de transferencia de calor U_o , la expresión para hallarlo basada en el diámetro exterior del tubo absorbedor es:

$$U = \left[\frac{1}{U_p} + \frac{D_{ext}}{h_{fl,int} D_{int}} + \frac{D_{ext} \ln \left(\frac{D_{ext}}{D_{int}} \right)}{2k} \right]^{-1} \quad (3.16)$$

donde:

D_{ext} : diámetro externo del tubo absorbedor (m).
 D_{int} : diámetro interno del tubo absorbedor (m).
 $h_{fl.int}$: coeficiente de convección interno del tubo ($W/m^2 K$)

El coeficiente de convección interno se puede obtener según la siguiente ecuación:

$$Nu = 0.023(Re)^{0.8}(Pr)^{0.4} \quad (3.17)$$

Siempre que el número de Reynolds sea mayor que 2300, en caso contrario $Nu=4'364$.

Una vez estimados los coeficientes de transferencia de calor, se puede calcular la eficiencia aplicando un balance sobre el tubo absorbedor. Se debe diferenciar entre el área aparente del colector (A_a) y el área del tubo absorbedor, con el que se calculará la energía pérdida (A_{abs}). La energía que llega al concentrador es:

$$Q_u = G_0 \eta_{opt} A_a - A_r U_p (T_{abs} - T_{amb}) \quad (3.18)$$

Expresando esta ecuación por unidad de longitud del colector.

$$q'_u = \frac{Q_u}{L} = \frac{G_0 \eta_{opt} A_a}{L} - \frac{A_{abs} U_p}{L} (T_{abs} - T_{amb}) \quad (3.19)$$

A su vez podemos expresar el calor útil en términos del fluido que atraviesa la sección del colector, siendo T_f la temperatura de este.

$$q'_u = \frac{\left(\frac{A_r}{L}\right)(T_{abs} - T_f)}{\frac{D_{ext}}{h_{fl.int} D_{int}} + \left(\frac{D_{ext} \ln \frac{D_{ext}}{D_{int}}}{2k}\right)} \quad (3.20)$$

Igualando respecto a la temperatura del absorbedor T_{abs} de ambas expresiones, se obtiene la siguiente ecuación:

$$q'_u = F' \frac{A_a}{L} \left[\eta_{opt} G_0 - \frac{U_p}{C} (T_f - T_{amb}) \right] \quad (3.21)$$

Siendo F' el factor de eficiencia del colector, dado por:

$$F' = \frac{\frac{1}{U_p}}{\frac{1}{U_p} + \frac{D_{ext}}{h_{fl.int} D_{int}} + \left(\frac{D_{ext} \ln \frac{D_{ext}}{D_{int}}}{2k}\right)} = \frac{U}{U_p} \quad (3.22)$$

Y (C) el factor de concentración.

Se puede remplazar la temperatura T_{abs} de la ecuación (3.18) por T_i , haciendo uso del factor de calor evacuado F_R , el cual representa el ratio de la energía ganada por el fluido frente a la energía total recibida por el colector. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$F_R = \frac{\dot{m}c_p}{A_{abs}U_p} \left[1 - \exp\left(-\frac{U_p F' A_{abs}}{\dot{m}c_p}\right) \right] \quad (3.23)$$

Remplazando las temperaturas

$$Q_u = F_R [G_0 \eta_{opt} A_a - A_{abs} U_p (T_i - T_{amb})] \quad (3.24)$$

Por último se puede obtener el rendimiento total del colector dividiendo el calor útil entre la energía total que llega sobre el área del colector.

$$\eta = F_R \left[\eta_{opt} - U_p \left(\frac{T_i - T_{amb}}{G_0 C} \right) \right] \quad (3.25)$$

Una vez calculados estos parámetros se podrá conocer el calor útil de un colector. Por otro lado, en las instalaciones de este tipo, los colectores se configuran en multitud de lazos en paralelo, con el fin de conseguir todo el calor necesario. Estos lazos son colectores en serie, con el fin de alcanzar mayores temperaturas. Los lazos están formados por un número par de colectores.

Al conectarse varios colectores en serie las temperaturas alcanzadas en el extremo final serán mayores, por lo que se originaran pérdidas mayores, por lo tanto se deberá emplear la siguiente expresión para colectores en serie.

$$Q_u = F_R [G_0 \eta_{opt} A_a - A_{abs} U_p (T_i - T_{amb}) + G_0 \eta_{opt} A_a - A_{abs} U_p (T_{o1} - T_{amb})] \quad (3.26)$$

Siendo T_{o1} la temperatura de salida del primer colector, dada por la expresión:

$$T_{o1} = \frac{F_R [G_0 \eta_{opt} A_a - A_{abs} U_p (T_i - T_{amb})]}{\dot{m}c_p} + T_i \quad (3.27)$$

Eliminamos T_{o1} de la expresión igualando en las ecuaciones (3.26) y (3.27), dando:

$$Q_u = F_{R1} \left(1 - \frac{K}{2} \right) [G_0 \eta_{opt} A_a - A_{abs} U_p (T_i - T_{amb})] \quad (3.28)$$

Donde F_R , U_{p1} son factores de un colector individual, y K es:

$$K = \frac{A_{abs} F_{R1} U_{p1}}{\dot{m} c_p} \quad (3.29)$$

Para N colectores idénticos conectados en serie, la expresión será:

$$F_R U_p = F_{R1} U_{p1} \left[\frac{1 - (1 - K)^N}{NK} \right] \quad (3.30)$$

El número de colectores en serie para cada lazo será 2, debido a que las temperaturas requeridas no son muy altas.

4. Cálculo Parámetros del Ciclo Combinado

A continuación se mostraran los balances termodinámicos empleados en cada elemento de la planta Termoeléctrica. La herramienta informática empleada para resolver los ciclos ha sido Matlab, pudiendo así resolver infinidad de casos rápidamente.

4.1 Ciclo de gas o Brayton

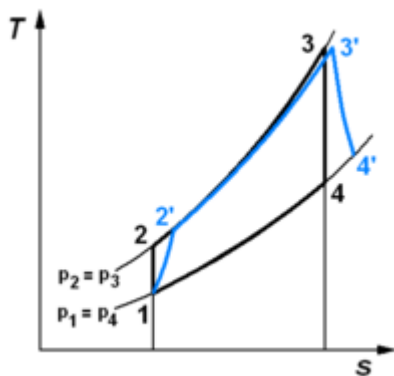


Ilustración 4.1 Diagrama Brayton.

El ciclo Brayton es un ciclo termodinámico consistente en una etapa de compresión adiabática, una etapa de calentamiento isobárico y una expansión adiabática de un fluido termodinámico compresible. Esta es la forma más simple en la que nos podemos encontrar un ciclo Brayton.

Además se desarrollaron diferentes mejoras del ciclo. Estas son *el recalentamiento, la regeneración y el enfriamiento intermedio*.

El **recalentamiento** permite aumentar el trabajo del ciclo, este es llevado a cabo gracias a una expansión multietapa, y entre cada una de estas etapas se “recalienta” el fluido de trabajo.

La **regeneración** que aumenta el rendimiento del ciclo, debido a la alta temperatura de salida de los gases de escape, que a su vez es el fluido de trabajo, se puede aprovechar este calor calentando el aire de admisión comprimido antes de su entrada a la cámara de combustión, reduciendo así el consumo de combustible.

El **enfriamiento intermedio** consiste en comprimir el aire de entrada en varias etapas y enfriando este entremedias de cada etapa. La ventaja conseguida con este método es reducir el trabajo de compresión, característicamente tan alto en este tipo de ciclo.

En la actualidad el mayor rendimiento se consigue cuando se construyen plantas de Ciclo Combinado, como la que se describe en este proyecto. Aunque las plantas de energía con mayor rendimiento son las de Ciclo Combinado se siguen construyendo plantas de energía de ciclo Brayton para aplicaciones como cogeneración.

En este proyecto al tratarse de un Ciclo Combinado el diagrama del ciclo Brayton corresponde con el de la Ilustración 4.1, el más sencillo.

Resolución del ciclo

Para cada elemento del ciclo se emplearán las expresiones del balance de masa y de energía balance de energía:

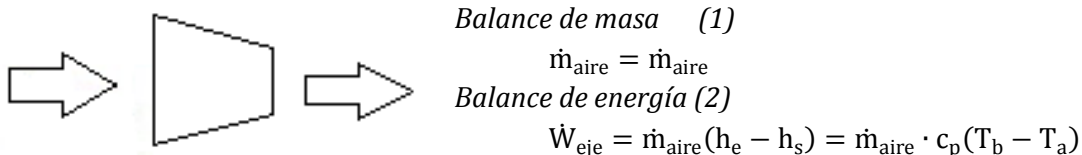
$$(1) \quad \sum \dot{m}_e = \sum \dot{m}_s$$

$$(2) \quad \frac{\delta E_{vc}}{\delta t} = \dot{Q} - \{W_{eje} - W_{\Delta V}\} + \dot{m}_e \left\{ h_e + \frac{1}{2} v_e^2 + g \cdot z_e \right\} - \dot{m}_s \left\{ h_s + \frac{1}{2} v_s^2 + g \cdot z_s \right\}$$

Se ha supuesto el aire como un gas ideal, con calor específico constante e igual a $C_p=1\text{kJ/kg}$. La masa de aire atmosférico que realiza el ciclo es de 208 kg según datos de la ficha técnica del fabricante de la turbina de gas.

Compresor

El compresor comprime aire atmosférico, se ha utilizado 1 bar como presión de entrada del aire atmosférico para todos los días del año, para el valor de la temperatura del mismo se ha utilizado la temperatura media de los últimos veinte años para cada día. La relación de compresión del compresor es de 15,8.



Para calcular el trabajo es necesario conocer la temperatura de salida, la cual se calculará a partir de la expresión de las adiabáticas:

$$P \cdot V^\gamma = cte$$

Operando esta ecuación con la expresión de los gases ideales $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$ se llega a la siguiente expresión que relaciona las temperaturas con la presión:

$$P \cdot \left(\frac{T}{P} \right)^\gamma = cte \rightarrow \frac{T_s}{T_e} = \left(\frac{P_s}{P_e} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

Calculándose con esta expresión la temperatura ideal de salida del compresor, como no lo es, se empleará la siguiente expresión para calcular la temperatura de salida.

$$\eta = \frac{(h_{2s} - h_1)}{(h_2 - h_1)} = \frac{T_{bs} - T_a}{T_b - T_a}$$

El rendimiento del compresor se ha supuesto del 85%.

Cámara de Combustión

La cámara de combustión quema gas natural. La cantidad de este a emplear será tal que los gases de la combustión no excedan 1350°C, a los que se supone la turbina de gas no presenta problemas en sus materiales. Esta temperatura ha sido escogida en función del rendimiento de la ficha técnica de la turbina.

El calor específico para el gas natural empleado es de 39.900 KJ/kg.

Balance de masa (1)

$$\dot{m}_{\text{aire}} + \dot{m}_{\text{gas natural}} = \dot{m}_{\text{mezcla}}$$

Balance de energía (2)

$$\dot{Q}_{\text{cc}} = \dot{m}_{\text{mezcla}}(h_c - h_b) = \dot{m}_{\text{mezcla}} \cdot c_p(T_c - T_b)$$

Por otro lado, se sabe que el calor generado en la cámara de combustión es:

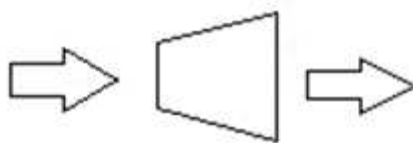
$$\dot{Q}_{\text{cc}} = L_i \cdot \dot{m}_{\text{gas natural}}$$

Turbina de Gas

En la turbina de gas se expanden los gases de combustión a alta presión para producir trabajo, con el cual se moverá el compresor y el generador eléctrico.

Los gases se expanden a presión superior de la atmosférica ya que después deberán recorrer la unidad HRSG y donde se producirán pérdidas de carga.

Según la ficha técnica de la turbina de gas, para este modelo de turbina en configuración de Ciclo Combinado la temperatura de los gases de combustión a la salida de la turbina es de 603°C. El rendimiento de la turbina de gas es del 95%.



Balance de masa (1)

$$\dot{m}_{\text{mezcla}} = \dot{m}_{\text{mezcla}}$$

Balance de energía (2)

$$\dot{W}_{\text{aje}} = \dot{m}_{\text{aire}}(h_e - h_s) = \dot{m}_{\text{aire}} \cdot c_p(T_c - T_d)$$

En esta ocasión se puede calcular directamente el trabajo de la turbina ya que la temperatura de salida de ella es conocida.

4.2 Ciclo de vapor o Rankine

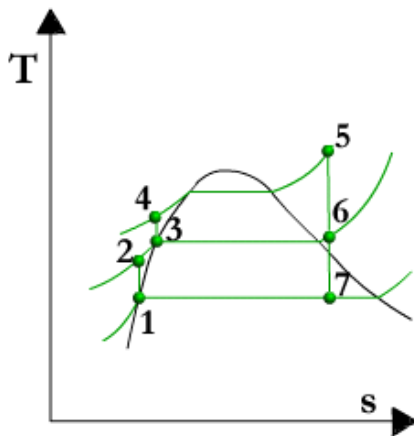


Ilustración 4.2 Diagrama Rankine isentrópico.

Un ciclo Rankine es un ciclo de potencia basado en el agua. El objetivo final es similar al de un ciclo Brayton, tener un fluido en estado gaseoso a alta temperatura y presión para expandirlo en una turbina y producir energía.

En este tipo de ciclo se encuentra inicialmente agua en estado líquido (agua de alimentación), este agua experimenta un aumento de presión en las bombas

(cuyo consumo es mucho menor al de un compresor al tratarse de un fluido incompresible). Después esta agua subenfriada se calienta hasta obtener vapor sobrecalentado, el cual es expandido en la turbina de vapor. Una vez expandido se enfría en un condensador para llevar el vapor saturado a baja presión a agua subenfriada, el agua de alimentación y así una y otra vez.

Existen distintas formas de aumentar el rendimiento de este ciclo. Una de ellas es el **recalentamiento**, que consiste en expandir el vapor en dos etapas. De modo que se expande hasta una presión intermedia entre la máxima y la mínima, se *recalienta* el vapor para aumentar su entalpía y se vuelve a expandir.

La es conocida como la **regeneración**, esta consiste en hacer una extracción de vapor en la turbina, también a una presión intermedia entre la máxima y la mínima, y emplear esta extracción para calentar el agua de alimentación. En este caso el agua de alimentación será la masa restante después de la extracción, la cual se expandirá hasta la presión de condensación, y posteriormente se condensará. Esta arquitectura mejora el rendimiento debido a que se aprovecha el calor de vaporización del agua aunque sea de una fracción del total, del modo convencional se tendría que ceder todo este calor a otro sistema o medio.

Existen dos tipos básicos de regeneración, en el primero la extracción se envía a un intercambiador cerrado en el cual intercambia calor con el agua de alimentación y posteriormente se envía al condensador donde se expande hasta la presión de condensación. Y el segundo tipo en el cual la extracción se envía a un intercambiador abierto, el cual deberá estar a la misma presión que la extracción. Este último tipo requiere tener un mínimo de bombas, para trabajar a tres presiones.

El ciclo Rankine que aquí se ha resuelto para el Ciclo Combinado con integración solar, es un ciclo Rankine con regeneración con intercambiador abierto.

El ciclo Rankine presenta como ventaja principal al ciclo Brayton que mientras en el primero se requiere de un combustible líquido o gaseoso, en el ciclo Rankine el

combustible puede ser también sólido, incluso el calor resultante de la fisión nuclear. El calor se aporta externamente.

Resolución del ciclo

A continuación se muestran los balances realizados entre cada punto de estado, tal y como se muestran en el diagrama *Ilustración 4.2* (la ilustración representa un ciclo isentrópico, aunque se ha modelado uno real).

De nuevo se han vuelto a emplear las ecuaciones (1) y (2) para resolver cada elemento del ciclo.

$$(1) \quad \sum \dot{m}_e = \sum \dot{m}_s$$

$$(2) \quad \frac{\delta E_{vc}}{\delta t} = \dot{Q} - \{W_{eje} - W_{\Delta V}\} + \dot{m}_e \left\{ h_e + \frac{1}{2} \theta_e^2 + g \cdot z_e \right\} - \dot{m}_s \left\{ h_s + \frac{1}{2} \theta_s^2 + g \cdot z_s \right\}$$

Como en este caso el fluido de trabajo es un fluido incompresible (agua) los datos de las propiedades termodinámicas de este se deben consultar en tablas. En este caso se ha utilizado el programa de Matlab XSteam.

Los datos conocidos del ciclo son:

Temperatura de entrada a la turbina de vapor: 550°C

Presión HP: 70 bar

Presión LP: 0'6 bar

Presión IP: 15 bar

Temperatura a la salida del intercambiador agua de alimentación: 180°C

Bomba 1

En la bomba se realiza una compresión adiabática reversible, aumentando la presión del fluido de 0'6 a 15 bares. Aunque estas no se comportan de modo ideal, por lo tanto se han modelado con un rendimiento del 95%.



Balance de masa (1)

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

Balance de energía (2)

$$\dot{W}_{bomba1} = \dot{m}_1 (h_2 - h_1)$$

Como se conoce la presión de salida y a priori se supone adiabático reversible se puede calcular la entalpía h_{2s} con el programa anteriormente mencionado XSteam. Para calcular la entalpía real en el punto 2 se empleará la siguiente expresión:

$$h_2 = h_1 + \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_{\text{bomba}}}$$

· **Intercambiador agua de alimentación**

En este intercambiador se mezclan el vapor de la extracción con el agua de alimentación proveniente de la bomba anterior.

Balance de masa (1)

$$\dot{m}_2 + \dot{m}_{6\text{ext}} = \dot{m}_3$$

Balance de energía (2)

$$\dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_{6\text{ext}} h_6$$

· **Bomba 2**

En la bomba 2 se vuelve a realizar una compresión en este caso desde la presión de 15 bares hasta la de 70 bares. Las ecuaciones se corresponden a las de la bomba 1.

· **HRSG**

En esta unidad se aprovechan los gases de escape a alta temperatura del ciclo Brayton y se emplean en cambiar de estado el líquido subenfriado a vapor sobrecalentado. Esta unidad se puede dividir en 3 intercambiadores y un calderín que además de mantener la temperatura y la presión permite separar el líquido del vapor.

Estos 3 intercambiadores están dispuestos en serie, y reciben los siguientes nombres: *economizador*, *evaporador* y *sobrecalentador*. El aporte de la caldera solar está dispuesto en paralelo con el evaporador.

El fabricante de la unidad HRSG limita el mínimo caudal que atravesará el evaporador a la tercera parte del caudal de diseño, limitando de este modo el máximo aporte solar, siendo los motivos el stress térmico de las tuberías y que no descienda demasiado el número de Reynolds.

El rendimiento para los intercambiadores de calor se ha supuesto del 90%, representando el 10% restante las pérdidas de la instalación.

Economizador

En este intercambiador se elevará la temperatura del agua hasta la temperatura de aproximación (*approach point*), característicamente es entre 5 y 10°C en los ciclos combinados. En este caso será un valor intermedio, 7'5°C.

Balance de energía (2)

$$q_{\text{economizador}} = h_{4\text{ec}} - h_3$$

Siendo h_{4ec} calculada a partir de la diferencia de la temperatura de saturación y 7.5°C .

Vaporizador

En el vaporizador entra líquido a temperatura ligeramente inferior a la de saturación y sale vapor ligeramente sobrecalentado, 7°C por encima de la temperatura de saturación. Existen 2 unidades de este elemento, una de ellas corresponde a la unidad HRSG y la otra al intercambiador de calor del campo solar. Ambos alimentados por el agua del calderín y descargan el vapor en el mismo.

Aplicando el balance de energía se calcula el calor por unidad de masa necesario para este cambio de estado.

Balance de energía (2)

$$q_{\text{vaporización}} = h_{4v} - h_{4ec}$$

Sobrecalentador

En el sobrecalentador se calienta el vapor proveniente del calderín hasta alcanzar la temperatura de 550°C , después este vapor es enviado a la turbina.

Balance de energía (2)

$$q_{\text{sobrecalentador}} = h_4 - h_{4v}$$

Además se debe cumplir:

$$Q_{\text{HRSG}} \cdot \text{rend}_{\text{HRSG}} = \dot{m}_1 \cdot (q_{\text{sobrecalentador}} + q_{\text{economizador}}) + \dot{m}_2 \cdot q_{\text{vaporizador}}$$

Se hace la distinción entre m_1 y m_2 ya que el caudal de agua que atraviesan las distintas partes de la unidad HRSG puede ser distinto debido a que el aporte solar se hace en la unidad de vaporización externa.

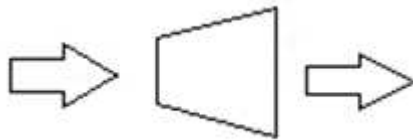
Turbina de vapor

En la turbina de vapor se expande el vapor proveniente del sobrecalentador hasta la presión de condensado, siendo esta 0.6 bar. En esta unidad existe una extracción, el porcentaje del caudal desviado típico toma un valor de entre el 10 y el 20%.

La turbina de vapor se diseña para un caudal máximo, que corresponderá con el día de diseño del campo solar, al variar el caudal de agua que pasa por ella a lo largo del día variará a su vez el rendimiento. El rendimiento máximo de la turbina es del 90%. Este rendimiento varía según la curva:

$$\%_{\text{perdido}} = 0.191 - 0.409 \left(\frac{\dot{m}}{\dot{m}_{\text{ref}}} \right) + 0.218 \left(\frac{\dot{m}}{\dot{m}_{\text{ref}}} \right)^2$$

$$rentv = 0.9 * (1 - \%perdido)$$



Balance de masa (1)

$$\dot{m}_e = \dot{m}_s$$

Balance de energía (2)

$$\dot{W}_{turbina} = \dot{m}_e(h_4 - h_5)$$

Para calcular la entalpía del punto 5, primeramente se calculará la entalpía del punto 5 isentrópico al conocer la entropía del punto 4 y la presión del punto 5, después con la expresión del rendimiento se calculará la entalpía real.

$$h_5 = (h_{5s} - h_4) \cdot rentv + h_4$$

Condensador

En esta unidad se puede calcular el calor que se debe evacuar para convertir el vapor de baja presión en líquido subenfriado. El sistema de refrigeración se ha descrito ligeramente en la descripción de la planta al no ser el objeto a tratar en el estudio.

$$q_{condensación} = h_5 - h_6$$

5. Resultados

5.1 Caldera Solar

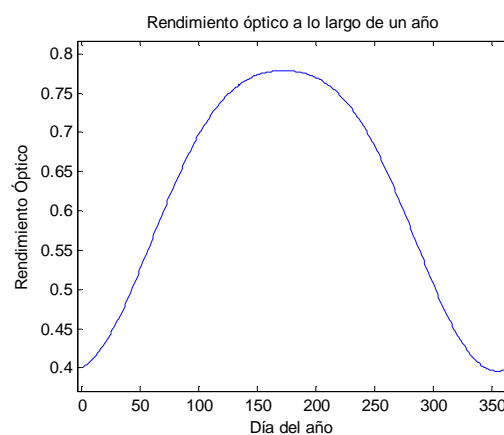
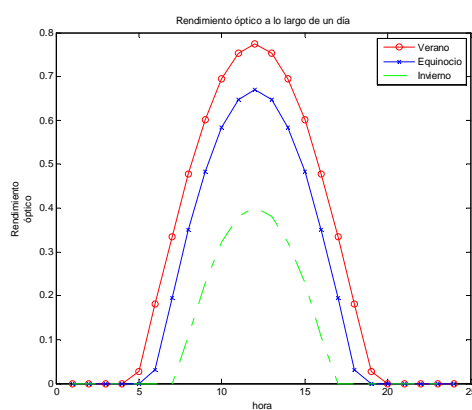
Como se describía en el apartado del dimensionado del campo solar, el día de diseño corresponde al 9 de julio, los datos de este día para el dimensionado son los siguientes:

Parámetros día de diseño	
Radiación directa (W/m^2)	810'6
Temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$)	24
Velocidad del viento (m/s)	2
Latitud ($^{\circ}$)	36'91

Tabla 5.1 Parámetros del día de diseño del campo solar.

Rendimiento Óptico

Como se vio, el rendimiento óptico era función del ángulo de incidencia, el que variaba a lo largo del día. Para lograr mayores rendimientos los colectores cuentan con sistemas de seguimiento del Sol, con ajuste continuo de la altura del Sol. En las siguientes figuras se muestra el rendimiento para distintas situaciones.



Gráficos 5.0.1a y 5.1b En el primero se muestra el rendimiento a lo largo de un día para 3 días distintos, correspondiendo con un día de verano, un día de invierno y un día del equinoccio. En el gráfico b) se muestra la variación del rendimiento máximo, el correspondiente a las 12h, según el día del año.

Análisis térmico colector

Una vez conocido el rendimiento óptico del colector parabólico, se analizará el comportamiento térmico del colector. Para ello se tendrán en cuenta las siguientes hipótesis:

- La temperatura del vapor a la salida del evaporador es de aproximadamente 286°C. Por lo que se fijara la temperatura del aceite térmico a la salida del intercambiador del evaporador a 300°C.
- Puesto que el aceite térmico mantiene sus propiedades hasta los 400°C, y no es necesario alcanzar tal temperatura, se supondrá la temperatura del tubo absorbedor 390°C.

A continuación se muestra la temperatura de salida del lazo del aceite térmico en función de la velocidad del mismo, y el calor útil.

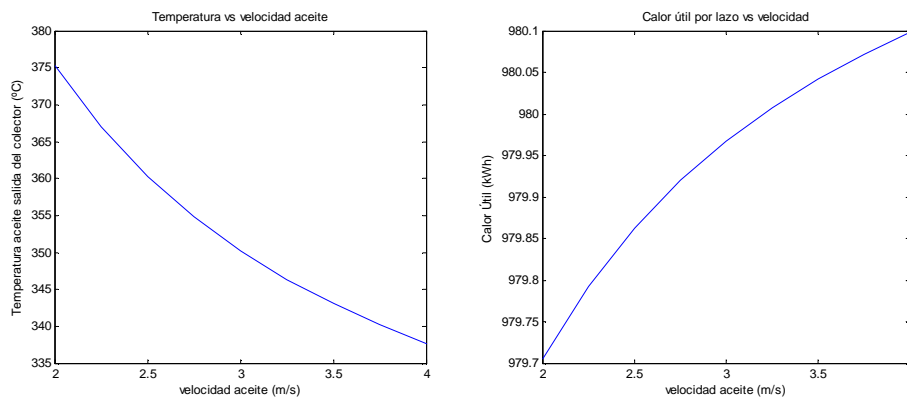
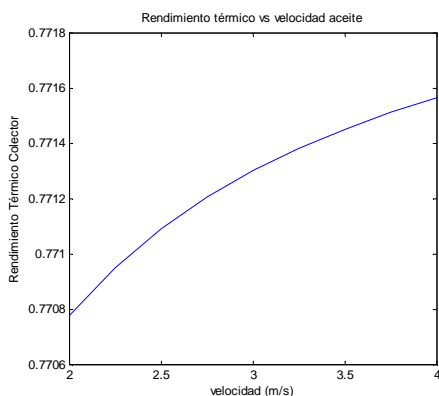


Gráfico 5.2 a y 5.2b. En el primero se representa la curva de la temperatura de salida de un lazo del campo solar en función de la velocidad del fluido que la atraviesa. En el segundo se muestra el calor útil que evacúa el líquido al paso por un lazo, también en función de la velocidad del fluido.

A partir de este punto la velocidad seleccionada para realizar los demás cálculos es la de 2'5 m/s. Se ha seleccionado este valor, por tener una temperatura inferior a las velocidades más bajas con lo cual se reducen pérdidas y una velocidad inferior a 3 m/s la máxima recomendada en tuberías por fenómenos de degradación de las mismas.



En este gráfico se observa que las pérdidas disminuyen con la velocidad del fluido. Este fenómeno ocurre debido a que al aumentar la velocidad del fluido la temperatura del tubo absorbedor es menor, reduciendo el calor perdido.

Gráfico 5.3 Muestra el calor perdido en función de la velocidad del fluido.

Análisis del tamaño de la instalación

A continuación se mostrara el gráfico del calor solar máximo de la instalación en función del número de lazos, y otro mostrando el calor máximo generado a lo largo de un año en función del número de lazos.

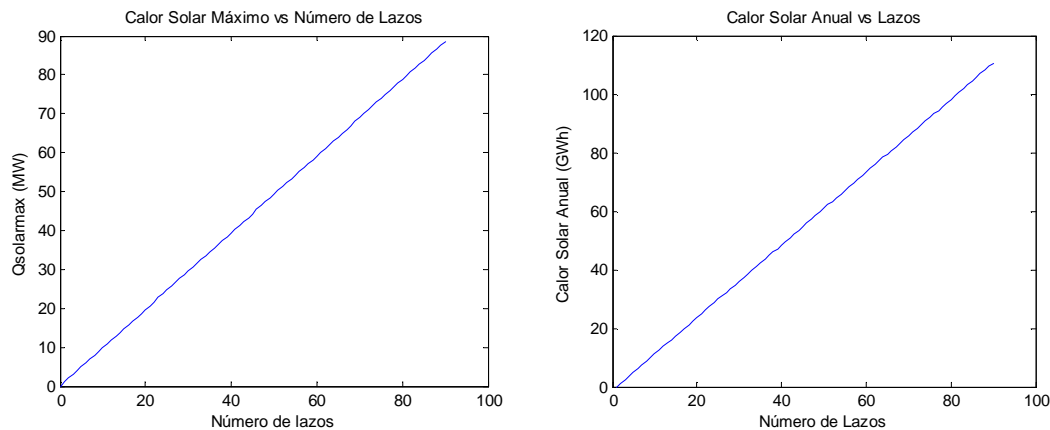


Gráfico 5.4 a y 5.4b. El primer gráfico muestra la potencia térmica del campo solar en función del número de lazos. El segundo gráfico muestra el calor anual capturado por el campo solar en función del número de lazos del mismo.

Se puede ver que ambos gráficos son lineales, lógicamente a mayor número de lazos mayor potencia y mayor energía.

A la hora de calcular energías anuales, se ha incluido el *periodo de mantenimiento de la instalación*. Se ha supuesto que la instalación para los 18 primeros días del año para realizar labores de mantenimiento. Estas fechas han sido escogidas debido a que la irradiación es mínima y el rendimiento óptico también.

Rendimiento Solar Anual

Como último punto de estudio del campo solar, es importante definir un factor de aprovechamiento de la instalación, para poder cuantificar de algún modo el rendimiento de esta instalación.

Este factor se va a definir como el ratio de energía solar térmica anual frente al número de horas de sol anuales multiplicadas por el calor máximo de cada lazo.

$$f_{aprov} = \frac{Q_{solaranual} \text{ lazo}}{Q_{lazomax} h_{solanuales}} = \frac{1'2428 \cdot 10^6}{954'03 \cdot 4393} = 0'2965$$

Este factor sería clave a la hora de juzgar entre varios emplazamientos, debiéndose escoger el de mayor valor para costes similares.

5.2 Ciclo Combinado

A continuación se presentan los datos de los puntos de operación del ciclo de potencia. Resolviendo las ecuaciones planteadas en el capítulo 4, obtenemos los siguientes resultados.

Parámetros del Ciclo Combinado		
Temperatura atmosférica (°C)	T_a	[9,27]
Flujo másico de aire (kg/s)	\dot{m}_{aire}	208
Presión Compresor (bar)	P_b	15'8
Temperatura Compresor (°C)	T_b	[407,450]
Potencia Consumida Compresor (MW)	W_{comp}	[82'8, 88'1]
Temperatura Cámara de Combustión (°C)	T_c	1350
Flujo másico de Gas Natural (kg/s)	\dot{m}_{comb}	[4'68, 4'91]
Temperatura salida Turbina de Gas (°C)	T_d	603
Potencia Generada Turbina de Gas (MW)	W_{tg}	[158'8, 159]
Potencia Neta Ciclo Brayton (MW)	W_{ntg}	[70'8, 76'2]
Calor Útil Gases Escape (MW)	Q_{HRSG}	~107
Ciclo Rankine		
Temperatura Agua de Alimentación (°C)	T_1	79'9
Presión Bomba 1 (bar)	P_2	15
Temperatura Intercambiador Abierto (°C)	T_3	180
Presión Bomba 2 (bar)	P_4	70
Temperatura Salida del Economizador (°C)	T_{5ec}	278
Temperatura Salida Vaporizador (°C)	T_{5v}	285'3
Temperatura Salida Sobrecalentador (°C)	T_5	550
Temperatura de la Extracción (°C)	T_6	[329, 336]

Tabla 5.2. Parámetros del Ciclo Combinado

La potencia generada por la turbina de vapor, así como la potencia consumida por las bombas dependerá del número de lazos de colectores así como del calor solar aportado en ese instante.

Para el Ciclo Combinado convencional, **la potencia de la central es de 110 MW**. Y la potencia máxima contemplada en este estudio es de 142 MW aproximadamente.

En el siguiente gráfico se muestra la generación anual del ISCC. *Los datos se han desglosado*, correspondiendo a la energía generada por la turbina de gas y la energía generada por la turbina de vapor, habiéndose separado esta última en dos, la producida gracias al calor suministrado por la caldera recuperadora HRSG, y la producida gracias al calor captado por el campo solar.

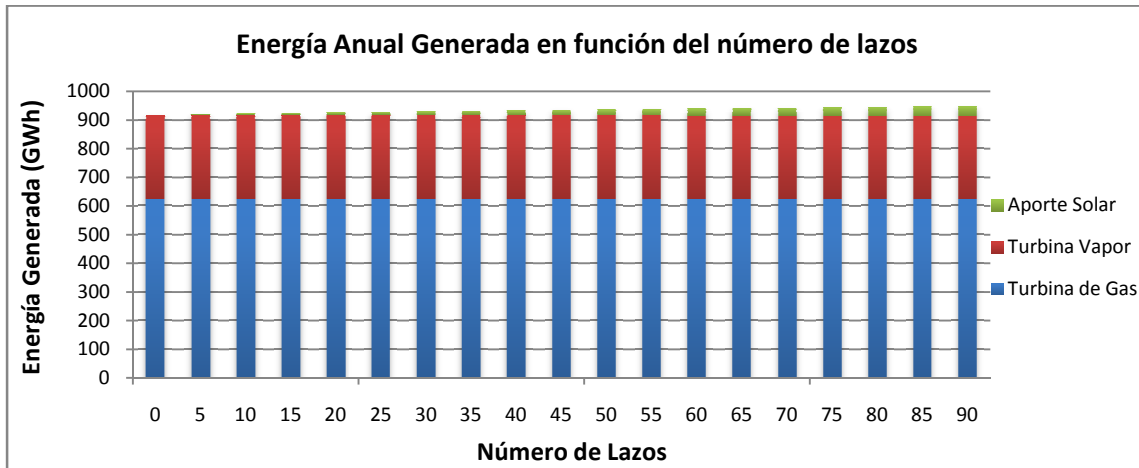


Gráfico 5.5 Energía Anual Generada por el ISCC.

Si se observan detenidamente las columnas que representan la energía generada por la turbina de vapor, que representa la energía generada debido al Ciclo Combinado convencional, se observan ligeras diferencias, disminuyendo ligeramente al aumentar el número de lazos.

Este efecto es debido a la pérdida de rendimiento de la turbina de vapor al sobredimensionarse para poder integrar la caldera solar. En el capítulo anterior, se introdujo la expresión que lo modela.

A continuación se muestra el gráfico de la pérdida de rendimiento máximo, correspondiente a las horas sin luz, de la turbina en función del número de lazos.

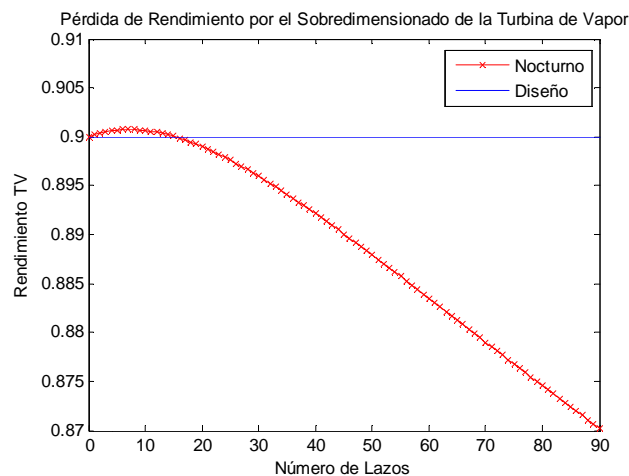


Gráfico 5.6 Rendimiento de la turbina, se representa el caso de flujo másico máximo y el mínimo.

Aunque este efecto no deja de ser apreciable, no origina una pérdida de rendimiento del ciclo muy grande, puesto que la principal pérdida de eficiencia del ciclo Rankine, como ya se explico anteriormente, es el calor de vaporización.

El siguiente gráfico muestra la diferencia de generación de un día de cada estación, donde se observará la importancia de realizar las labores de mantenimiento durante los meses de invierno.

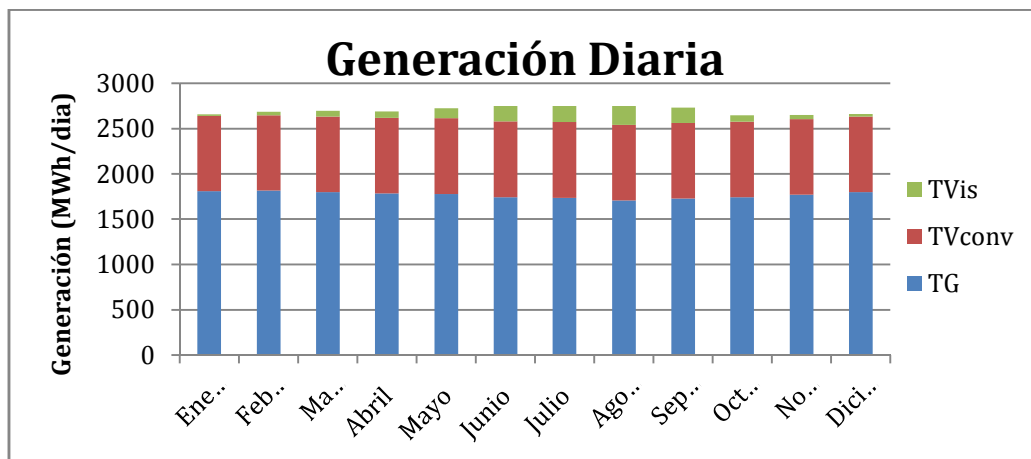


Gráfico 5.7 Generación diaria durante el año para el ISCC de 90 lazos.

Rendimiento del ciclo

Al incorporar la caldera solar el rendimiento global del ciclo disminuiría, debido a que el rendimiento del ciclo de vapor será aproximadamente del 38%. Sin embargo, para el propósito de este proyecto la unidad de energía térmica solar adicional es gratuita, sin embargo la energía aportada por el combustible no.

Por tanto, se puede calcular el rendimiento del ciclo completo al cabo del año respecto a la energía suministrada en forma de combustible, en este caso gas natural. Este parámetro reflejará que para una misma cantidad de gas natural el trabajo extraído del ciclo es mayor.

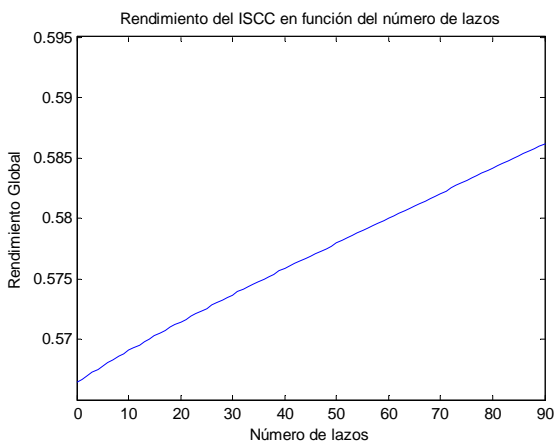


Gráfico 5.8 Rendimiento por unidad de combustible del ISCC.

Ahorro de combustible

Partiendo del Ciclo Combinado del rendimiento de 0 lazos, se calcula la cantidad de combustible necesaria para conseguir este aporte extra de energía.

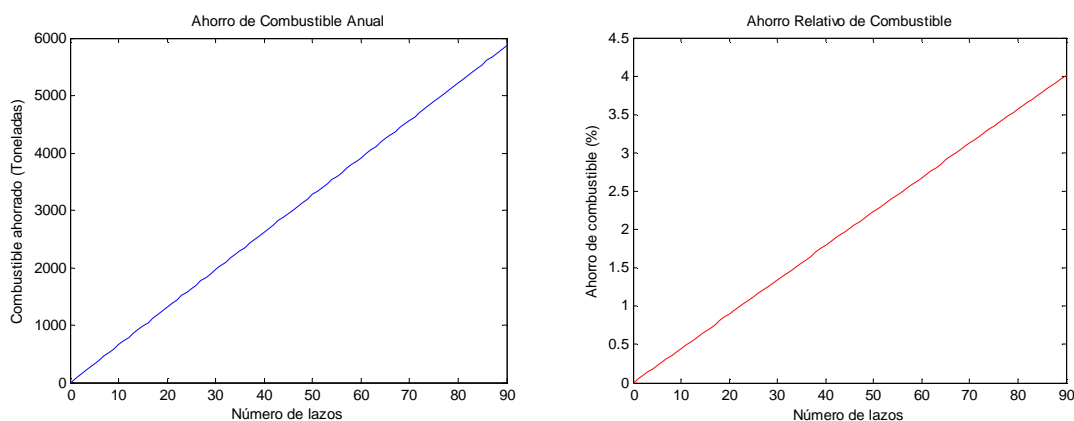


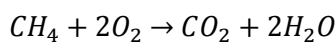
Gráfico 5.9a y 5.9b El primer gráfico muestra el Ahorro de Combustible Anual Absoluto en función del número de lazos. El segundo gráfico muestra el Ahorro de Combustible Relativo.

Estos datos nos permitirán calcular el ahorro en los costes de materia prima y el efecto en variaciones del precio en el capítulo correspondiente al análisis económico.

Ahorro CO₂

Por último, como se anticipaba en la introducción del proyecto otro de los efectos beneficiosos a estudiar es el ahorro de CO₂, se puede anticipar que en porcentaje será el mismo que el del ahorro de combustible, al ser directamente proporcionales.

El gas natural, está formado por metano mayoritariamente. Para los cálculos de ajuste estequiométrico se ha supuesto metano únicamente. Se presenta la ecuación ajustada y las toneladas de CO₂ por tonelada de combustible.



$$m_{CH_4} = 16$$

$$m_{CO_2} = 44$$

Por cada tonelada de gas natural, se liberarán a la atmósfera 2'75 toneladas de CO₂

Representación del ahorro de emisiones de CO₂ de la Central Termoeléctrica.

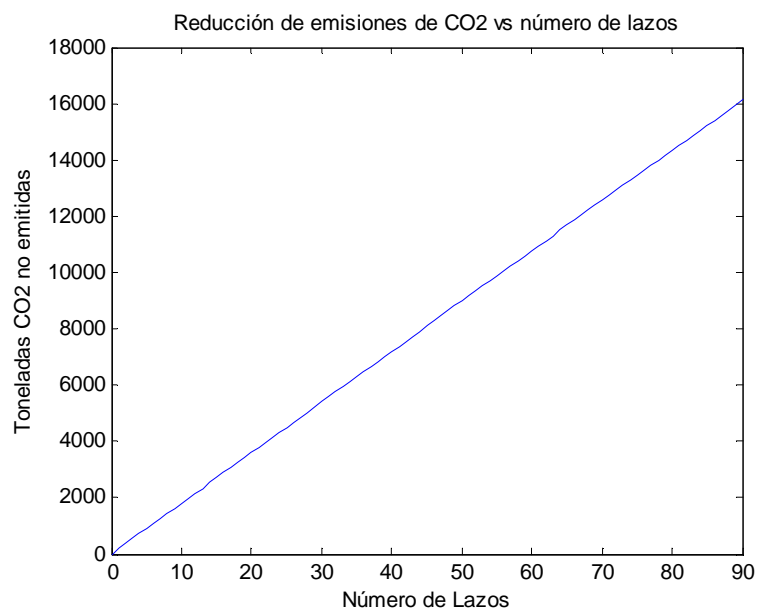


Gráfico 5.10 CO₂ no emitido a la atmósfera gracias a la tecnología solar.

6. Análisis Económico

Para evaluar la viabilidad de cualquier proyecto, se debe trasladar el problema a términos económicos, puesto que un proyecto de tal envergadura requiere de una gran inversión y los accionistas persiguen el beneficio económico.

Además el análisis económico es una herramienta muy potente a la hora de analizar situaciones, si bien un proyecto no es rentable en un momento determinado, se pueden analizar multitud de factores, para conocer bajo que contexto el proyecto es interesante.

Antes de nada se deben conocer los costes de cada uno de los elementos del proyecto. Los costes aquí presentados son estimaciones realizadas a partir del estudio bibliográfico. El coste de los equipos es siempre estimado, puesto que entran dentro de la estrategia de mercado del fabricante.

6.1 Costes Instalaciones

Coste del Ciclo Combinado

La construcción de Ciclos Combinados está más que extendida por todo el mundo, es una tipo de tecnología muy madura, y sus costes están muy estudiados. En la bibliografía consultada el coste de un Ciclo Combinado varía en un rango de entre 600 y 900 €/kW.

Por las características del ciclo que es bastante sencillo al solo contar con una extracción se puede estimar en 730€/kW_e el coste de la planta.

Como todos los casos estudiados parten del Ciclo Combinado convencional, se calcula para la potencia base de 110 MW.

Inversión

Coste CC	730€/kW*110MW	80.300.000€
Construcción, ingeniería y contingencias	20%	16.060.000€
TOTAL		96.360.000 €

Operación y Mantenimiento

Sueldo por empleado (anual)	48.000€	
Número de empleados operación	40	1.920.000€
Número de empleados mantenimiento	12	576.000
Inversión equipamiento O&M (%anual)	1%	963.600€
Coste seguro (%anual)	1%	963.600€
TOTAL		4.423.200€

Tabla 6.1. Costes del Ciclo Combinado convencional.

Coste del Campo Solar

En este caso se ha podido obtener el precio de los componentes bastante desglosado, de este modo se puede calcular de un modo más preciso.

Inversión

<u>Colectores</u>		
Espejos	80€/espejos	26.800€
336espejos/colector		
Tubo receptor	900€/tubo	32.400€
36tubos/colector		
Estructura	86.500€	86.500€
Accionamientos hidráulicos	5.300€	5.300€
2colectores por lazo	x2	
	TOTAL	302.000€
Superficie Lazo	1713'69m ²	
Terreno	2€/m ²	3427'38€/lazo
Sobredimensionado de la turbina	100€/kW _e	100€/kW _e
Evaporador	10'45€/kW _e	10'45€/kW _e
Construcción, ingeniería y contingencias	20%	(*)
	TOTAL	(*)
<u>Operación y Mantenimiento</u>		
Sueldo por empleado (anual)	48.000€	
Número de empleados operación	4	192.000€
Número de empleados mantenimiento	1	48.000€
Inversión equipamiento O&M (%anual)	1%	(*)
	Empleados	240.000€
Coste seguro (%anual)	1%	(*)

Tabla 6.2. Costes del Campo Solar.

(*) Los campos así marcados se calcularán por número de lazo mediante la herramienta matemática.

6.2 Costes del producto

Una vez estimada la producción eléctrica anual, los costes de la inversión inicial y los costes de operación y mantenimiento, se debe calcular el precio del kWh_e, el producto final de la instalación con el que se deberá sufragar todos los gastos en el ciclo de vida de la Central Termoeléctrica.

Para calcular el precio de la energía producida, se empleará el factor LCOE (levelized cost of energy), definido según la expresión:

$$LCOE = \frac{f_{rc}C_{inv} + C_{O\&M} + C_{comb}}{E_{red}}$$

donde f_{rc} es el factor de recuperación del capital. Este factor se emplea ya que el dinero del presente es más caro que el del futuro, debido a que este dinero genera intereses. Para que los grupos de inversores o bancos decidan invertir su dinero en un proyecto, no exento de riesgos, tienen que saber que intereses les va a generara la suma aportada. La expresión de este factor es:

$$f_{rc} = \frac{i}{i - (1+i)^{-n}}$$

Siendo i el interés que se ofrece a los inversores (o algo superior como beneficio de la empresa que dirija el proyecto) y n el número de años en los que se recupera la inversión. Para este caso se tomará el interés como el 8%, y el ciclo de vida de la central será de 20 años.

Para calcular el coste del combustible anual se consulto la página web del Ministerio de Industria, Energía y Turismo, donde aparece el precio del gas natural, siendo este de 0.011830 €/kWh.

Al igual que el capítulo anterior, se recurre a separar la generación de energía según la materia prima de su origen. Por un lado la que se genera mediante el Ciclo Combinado convencional a base de la combustión de gas natural, y por el otro, la generada con la energía captada por el campo solar.

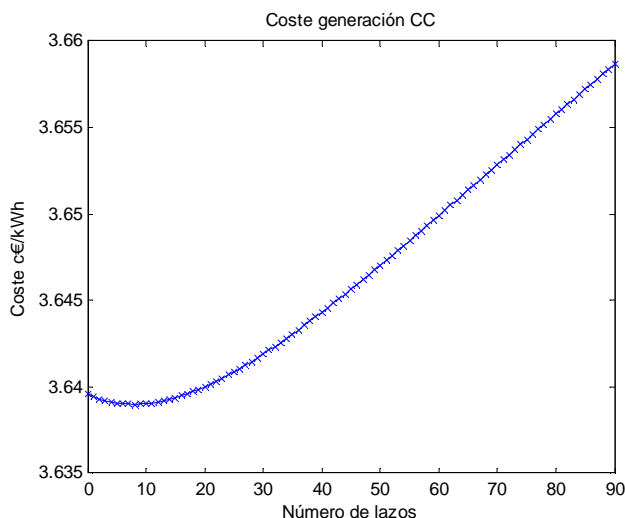


Gráfico 6.1. Coste generación del Ciclo Combinado convencional.

El incremento en el coste de generación observado en el gráfico se debe a la pérdida de rendimiento de la turbina de vapor. Este efecto es muy leve, aumentando el coste de la generación de energía eléctrica en el peor de los casos $2 \cdot 10^{-2}$ c€/kWh.

Se observa en el caso de la tecnología solar que el coste es muy superior, en torno a los 11c€/kWh. Esto se debe al gran coste de la instalación y el limitado tiempo de operación.

Sin embargo, para Centrales Termosolares los precios son aún superiores, llegando a los 18c€/kWh según la bibliografía consultada. Con lo que se obtiene un beneficio significativo en la reducción de costes al hibridar este tipo de tecnologías.

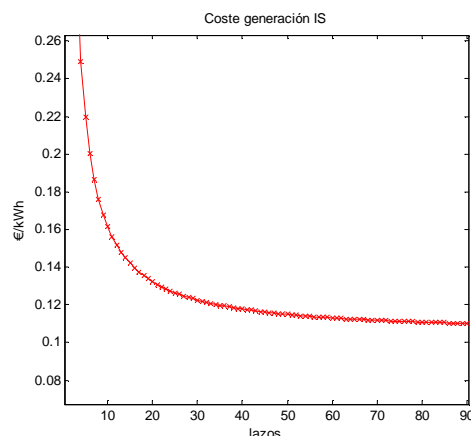


Gráfico 6.2 Coste generación del sistema solar.

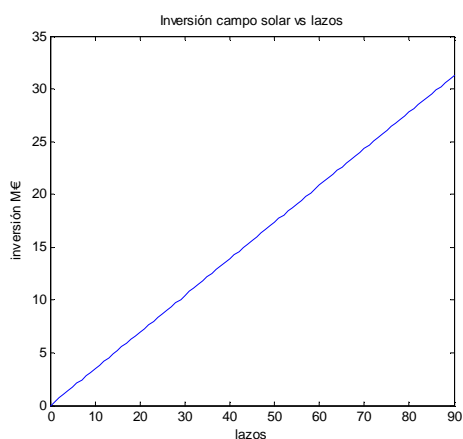


Gráfico 6.3 Inversión en función del tamaño del campo solar

Además presenta una asíntota, lo que supone que a partir de cierto valor para reducir ligeramente el coste de generación se deba aumentar en una gran cantidad el tamaño del campo solar. Y como se observa en el siguiente gráfico el aumentar un lazo supone una inversión de 354.000€.

El tamaño óptimo de la instalación se encontrará entre los 20 y 35 lazos.

A continuación se presenta el resultado completo de la instalación, se ha añadido el precio de casación para ver los márgenes de beneficio. Este precio se ha obtenido visitando la página web del operador del sistema. El año pasado la media fue de 60€/MWh, este año está siendo algo más bajo de unos 54€/MWh por el momento.

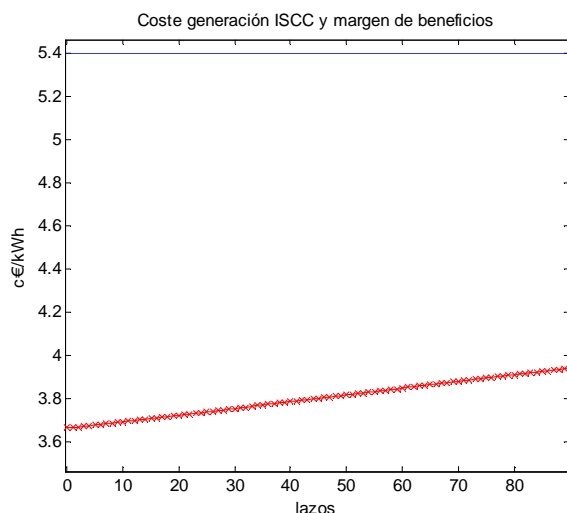


Gráfico 6.4 Coste de generación ISCC.

El resultado es que la integración solar a priori encarece los costes de generación. Además se hará un estudio de otros factores, que puedan ofrecer ventajas a esta tecnología.

Como muestra el gráfico anterior la *Central Termoeléctrica ISCC es completamente rentable*, aunque la integración solar en vez de abaratar el coste de generación, los aumenta, reduciendo los beneficios como se muestran en el gráfico siguiente.

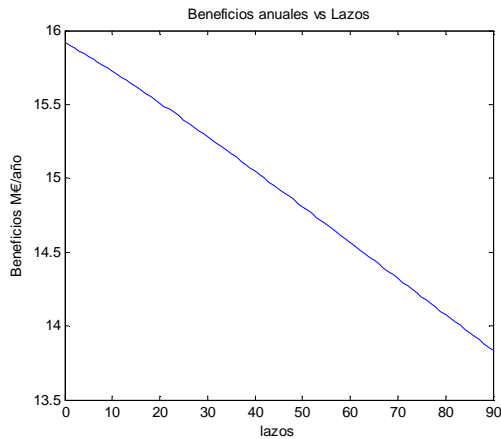


Gráfico 6.4 Beneficios anuales

Se estudiará bajo que marco legal puede sufragarse el coste de la inversión de la integración solar con la generación de energía de la misma.

6.3 Marco de la Central Termoeléctrica

Dependiendo del marco en el que opere la Central Termoeléctrica podrá ser rentable la inversión en la integración solar, sin olvidar remarcar que la tecnología híbrida en conjunto sigue siendo rentable.

Se valorarán los siguientes aspectos que podrían variar en el marco del país en el que se opera: prima régimen especial,, venta derechos de emisión o recibir una subvención.

Prima Régimen Especial

Hasta el momento este era el caso de España, las energías de régimen especial contaban con una prima, es por esto que aunque tengan ventajas medio ambientales, estos no computan a la hora de elaborar la cuenta de resultados. Por ello estas tecnologías recibían unas primas del Estado. Sin embargo, debido a al panorama actual este año se han suprimido para la generación en régimen especial que no este preasignada antes del año 2010.

Aun así se realizará una estimación de la prima necesaria para obtener rentabilidad en la inversión de la tecnología solar, puesto que podría cambiar la legislación, o podría estudiarse otra localización.

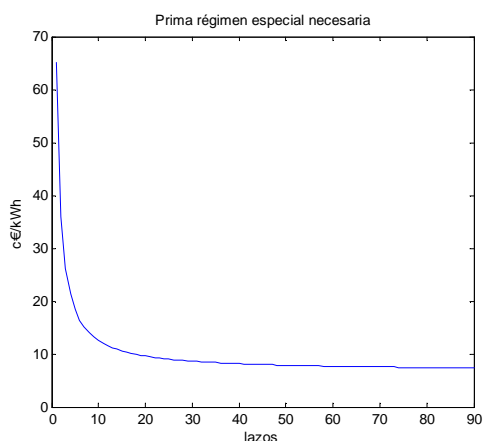


Gráfico 6.5 Prima necesaria para el campo solar.

El gráfico muestra la prima que sería necesaria obtener por la energía generada gracias al campo eléctrico para mantener el mismo margen de beneficios que el Ciclo Combinado convencional. Esta prima estará entorno a los 7'3c€/kWh.

Además aparece un **punto óptimo**, este óptimo es el objetivo de analizar el campo solar en función del número de lazos. Aunque solo se observará para valores muy concretos de la prima recibida. Esto se debe al efecto ya mencionado de la pérdida de rendimiento de la turbina de vapor, estando muy diluido gracias a la gran contribución de generación de la turbina de gas.

Derechos de emisión

Como ya se menciona, en Europa el año que viene se pondrá en vigor una nueva fase de política medio ambiental, por la cual las empresas tendrán limitadas las emisiones de gases de efecto invernadero.

A cada instalación que lo requiera se le establecerá una cantidad de derechos de emisión, pudiendo emitir una cantidad de gases de efecto invernadero como le haya sido establecido, y siempre que le sobren podrá comerciar con ellos en el mercado de derechos de emisión.

Si la Central Termoeléctrica obtuviera derechos de emisión en función de la energía generada, podría financiarse la hibridación con estos derechos. El siguiente estudio muestra el precio de los derechos de emisión necesario para la autofinanciación de la integración solar.

El precio de venta de los derechos de emisión necesario para autofinanciar el campo solar es muy superior al precio de mercado, en torno a los 6€/TonCO₂.

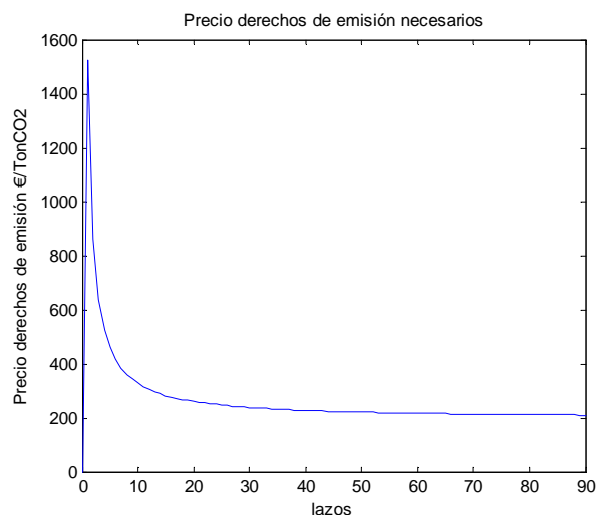
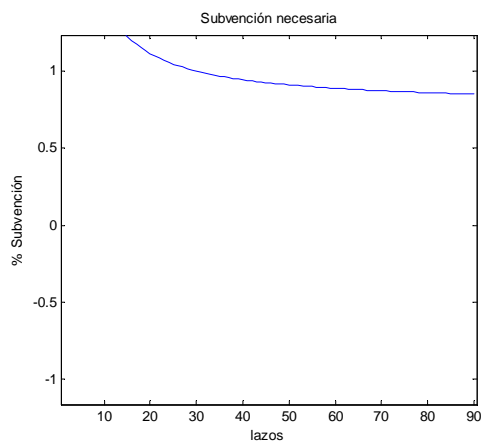


Gráfico 6.6 Derechos de emisión.

Subvención

Por último, se estudiará la posibilidad de obtener una subvención del Estado con la que poder pagar parte de la inversión del campo solar, al tratarse de un proyecto de innovador que puede generar ventaja a las empresas españolas de este sector. Se estudio la posibilidad de un préstamo gubernamental a bajo interés para sufragar el campo solar, pero aun sigue siendo muy elevado el coste de esta tecnología como para conseguirlo.



En este gráfico se puede ver el porcentaje de la inversión que se debe obtener como subvención, para que el campo solar se autofinancie. Siendo necesario obtener una subvención de entorno el 90% del coste de la integración solar.

Gráfico 6.7 Subvención necesaria



B. Plan de Implementación de la Central Termoeléctrica ISCC

1. Introducción

1.1 Objeto y Alcance del Plan de Implementación.

El propósito del Plan de Implementación de la Central Termoeléctrica ISCC es:

- A.- Proporcionar una base común de coordinación y entendimiento del enfoque general o estrategia, que se deberá emplear en la implementación de la Central Termoeléctrica ISCC.
- B.- Definir la naturaleza y la cronología de todas las tareas o trabajos necesarios para llevar a cabo la implementación de la Central Termoeléctrica ISCC.
- C.- Determinar la responsabilidad de las numerosas entidades que intervendrán en la ejecución de tales tareas o trabajos.

El Plan de Implementación de la Central Termoeléctrica ISCC se ocupa de la identificación de las tareas o los trabajos dentro del marco general para su implementación. La planificación detallada para el cumplimiento de las tareas o los trabajos aquí determinados, será responsabilidad de las entidades ejecutantes, a las que les asigne su ejecución.

1.2 El Proyecto de Realización y Evaluación Operativa de la Central Termoeléctrica ISCC.

Los objetivos últimos del Proyecto de Realización y Evaluación Operativa de la Central Termoeléctrica ISCC son:

- A.- Adquirir e emplazar operativamente la Central Termoeléctrica ISCC.
- B.- Operar y llevar a cabo la evaluación operativa de la Central Termoeléctrica ISCC, incluyendo la medida de sus beneficios medioambientales y de ahorro de combustible.

1.3 Mejoras de la Central Termoeléctrica ISCC.

La Central Termoeléctrica ISCC posibilitará:

- El empleo de la energía solar para producir energía eléctrica.
- Disminuir parcialmente la emisión de gases nocivos y de efecto invernadero.
- Disminuir parcialmente la necesidad de combustibles fósiles.
- Contribuir al abatimiento del Cambio Climático.

1.4 Enfoque General de la Implementación de la Central Termoeléctrica ISCC.

La implementación de la Central Termoeléctrica ISCC, una vez formulado el correspondiente Proyecto, se llevará a cabo en tres fases:

La primera fase, **"Definición del Marco Gerencial, Técnico y Contractual de la Implementación de la Central Termoeléctrica ISCC"**, cuyos principales resultados serán: el Plan de Gerencia del Proyecto; la Determinación del Alcance de las Macro Tareas para Implementar (Realización y Evaluar Operativamente) la Central Termoeléctrica ISCC; la Especificación Técnica y los Documentos para licitar la Adquisición de las Unidades Principales de la Central Termoeléctrica ISCC; los Contratos para llevar a cabo la Adquisición y el Emplazamiento Operativo de las Unidades Principales de la Central Termoeléctrica ISCC. Esta fase se ejecutará en un plazo de 12 meses.

La segunda fase **"Adquisición y Emplazamiento Operativo de la Central Termoeléctrica ISCC"**, incluye todo el esfuerzo de ingeniería de sistemas; ingeniería de diseño; desarrollo, fabricación y pruebas; etc., para realizar la adquisición y el emplazamiento operativo de la Central Termoeléctrica ISCC, una vez perfeccionados los Contratos de Adquisición y Emplazamiento Operativo de sus Unidades Principales. Esta fase se ejecutará en un plazo de 18 meses.

La tercera fase, **"Puesta en Uso y Evaluación Operativa de la Central Termoeléctrica ISCC"**, comenzará con un periodo de ensayos y continuará con Evaluación Operativa de Central Termoeléctrica ISCC, incluyendo la medida de sus efectos beneficiosos. Esta fase se ejecutará en un plazo de 12 meses.

1.5 Gerencia de la Implementación de la Central Termoeléctrica ISCC.

Se implantará una Unidad Orgánica, denominada Oficina de Gerencia del Proyecto, cuya responsabilidad será la realización y la evaluación operativa de Central Termoeléctrica ISCC, cumpliendo sus objetivos técnicos y plazo de la manera más eficaz y eficiente, dentro del límite presupuestario aprobado.

La Oficina de Gerencia del Proyecto estará constituida por:

- El Gerente del Proyecto.
- El Gerente de Administración, Coordinación y Control del Proyecto.
- El Gerente de Análisis e Ingeniería de Sistemas.
- El Gerente de Desarrollo y Pruebas.
- El Gerente de Integración de Funciones Operativas.
- El Gerente de Entrenamiento.
- Gerente de Emplazamiento.
- El Gerente de Apoyo Técnico y Administrativo.
- El Gerente de Evaluación Operativa.

1.6 Control de la Implementación de la Central Termoeléctrica ISCC.

La Dirección General implantará una Comisión de Revisión, Evaluación y Control del Proyecto con la finalidad de retener el control superior sobre la realización y la evaluación operativa de Central Termoeléctrica ISCC, verificando que se ejecuta de acuerdo con todas las decisiones aprobadas y que cada una de sus fases solo se inicia cuando se han aprobado los resultados de la fase precedente.

La Comisión de Revisión, Evaluación y Control del Proyecto establecerá los hitos de control antes de iniciar la implementación de la Central Termoeléctrica ISCC, en que se examinará y evaluará el progreso realizado, con autoridad para aprobar en cada hito de control, el inicio de la etapa consiguiente o, en su caso, cancelar la implementación, si ésta no progresa adecuadamente.

1.7 Cronograma de Implementación de la Central Termoeléctrica ISCC.

El Cronograma de la Implementación de la Central Termoeléctrica ISCC se exhibe debajo, ordenado por fases.

DEFINICIÓN DEL MARCO GERENCIAL, TÉCNICO Y CONTRACTUAL. (*)

TAREAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Constitución de la Oficina Gerencia												
Plan de Gerencia												
Manual Procedimientos												
Macro Tareas del Proyecto.												
Análisis del Proyecto.												
Especificación Técnica de la Central												
Atribución Requerimientos y Especificación U. P.												
Actuación Preliminar en Emplazamiento.												
Licitación Unidades Principales												
Propuestas Ciclo Combinado y Caldera Solar												
Admisión y Evaluación Propuestas												
Perfeccionamiento Contratos												
Actualización Plan Implementación												
Licitación y Contrato de Servicios de Ingeniería												
Organización para la Operación Central												
Contratos con Entidades de Sist. de Interconexión Ext..												
Estudios Técnicos de la Central												
Desagregación del Complemento Central												
Sistema de Archivo.												
Documentación Fase de Definición del Marco Gerencial, Técnico y Contractual												
Aprobación Fase de Definición del Marco Gerencial, Técnico y Contractual.												

Tabla 2. Definición del marco gerencial, técnico y contractual.

*La duración de las tareas están expresadas en meses.

ADQUISICIÓN Y EMPLAZAMIENTO OPERATIVO DE LA CENTRAL ISCC (*).

2

TAREAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Gerencia del Proyecto																		
Lanzamiento y Ejecución de Contratos P.																		
Control de Ejecución de Contratos P..																		
Gestión Configuración Central																		
Licencias y Autorizaciones																		
Desarrollo Diseño Central																		
Licitación y Adjudicación Resto Contratos																		
Suministro Resto Equipos																		
Construcción Central																		
Revisión, Verificación y Aceptación Contratos																		
Entrenamiento Personal Explotación																		
Planificación Apoyo Logístico.																		
Comprobación Conexiones Externas.																		
Integración Operativa Central																		
Seguridad de la Central																		
Pruebas Pre Operacionales.																		
Preparativos para la Puesta en Uso.																		
Evaluación y Control del Proyecto																		
Documentación del Proyecto																		
Aprobación Fase Adquisición y Emplazamiento																		

Tabla 3. Adquisición y emplazamiento operativo.

* La duración de las tareas están expresadas en meses

PUESTA EN USO Y EVALUACIÓN OPERATIVA DE LA CENTRAL ISCC (*).

TAREAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ejecución Plan de Transferencia de Responsabilidad.												
Liberación Organización Pruebas Pre Operacionales												
Puesta en Vigor del Apoyo Logístico												
Pruebas Operacionales Central												
Entrenamiento del Personal en la Central												
Permiso Administrativo de Puesta en Uso y Operación.												
Puesta en Uso de la Central.												
Evaluación Operativa de la Central.												
Verificación de las Garantías Técnicas de los Contratistas.												
Liquidación de los Contratos del Proyecto.												
Cierre del Proyecto												
Archivo del Proyecto												

Tabla 4. Puesta en uso y evaluación operativa.

* La duración de las tareas están expresadas en meses

2. Definición del marco gerencial, técnico y contractual para la implementación de la central termoeléctrica ISCC.

De entre las principales tareas que se han de acometer durante esta fase, toman mayor relevancia: la constitución de la Oficina de Gerencia del Proyecto (The Project Management Office); la preparación del Manual de Procedimientos del Proyecto; la definición del Alcance de las Macro Tareas Básicas para Implementar la Central Termoeléctrica ISCC ; el Análisis de los Antecedentes del Proyecto y la Definición, la Adjudicación y el Perfeccionamiento y de los Contratos Principales para Implementar la Central Termoeléctrica ISCC.

Asimismo, en esta fase se define el Contrato de Servicios de Ingeniería de Apoyo a la Oficina de Gerencia del Proyecto.

2.1 Constitución de la Oficina de Gerencia del Proyecto

Esta tarea consistirá en el acto mediante el que la Dirección General establece formalmente la Oficina de Gerencia del Proyecto y se le dota de efectivos.

2.2 El Plan de Gerencia del Proyecto

La Oficina de Gerencia del Proyecto preparará el Plan de Gerencia del Proyecto, que describirá la manera de administrar la implementación de la Central Termoeléctrica ISCC; identificará la organización de todas las unidades participantes y de apoyo; y definirá las responsabilidades y las interrelaciones de la estructura organizativa de la propia Oficina de Gerencia del Proyecto.

Asimismo, el Plan de Gerencia del Proyecto definirá la manera en que la Dirección General mantendrá la participación, la visión y el control adecuados sobre los asuntos que afecten a la implementación de la Central Termoeléctrica ISCC.

2.3 El Manual de Procedimientos de la Gerencia del Proyecto

La Oficina de Gerencia del Proyecto preparará, someterá a aprobación e implementará el Manual de Procedimientos del Proyecto con el contenido siguiente:

1. Organización de la Oficina de Gerencia del Proyecto
2. Canales de Comunicación.
3. Emisión de Informes a la Comisión de Revisión, Evaluación y Control del Proyecto.



4. Sistema de Información de la Gerencia del Proyecto
5. Planificación y Programación.
6. Administración de Contratos.
7. Dirección Técnica.
8. Administración del Presupuesto y Control del Cronograma.
9. Gestión de la Configuración.
10. Garantía de la Calidad.
11. Gestión de la Documentación.
12. Gestión Financiera
13. Gestión del Riesgo
14. Requisitos (Administrativos) del Proyecto
15. Aspectos Generales del Proyecto

2.4 Las Macro Tareas para la Implementación de la Central Termoeléctrica ISCC.

Desde el punto de vista de la Gerencia del Proyecto, resulta conveniente dividir el proceso de Ejecución del Proyecto en quince macro tareas básicas, que serán:

1. Gerencia del Proyecto;
2. Análisis de Antecedentes
3. Ingeniería de Sistemas;
4. Licencias y Autorizaciones;
5. Adquisición de las Unidades Principales de la Central Termoeléctrica ISCC;
6. Desarrollo del Diseño de la Central Termoeléctrica ISCC;
7. Licitación, Adjudicación y Administración de Contratos;
8. Suministros de Equipos y Subsistemas de la Central Termoeléctrica ISCC;
9. Construcción de la Central Termoeléctrica ISCC;
10. Revisión, Verificación y Aceptación de Trabajos;



11. Entrenamiento del Personal de Operación y Conservación de la Central Termoeléctrica ISCC;
12. Desarrollo del Apoyo Logístico de la Central Termoeléctrica ISCC;
13. Seguridad de la Central Termoeléctrica ISCC;
14. Preparativos para la Puesta en Marcha de la Central Termoeléctrica ISCC;
15. Documentación del Proyecto;

2.5 Análisis (de la Formulación) del Proyecto de la Central Termoeléctrica ISCC.

La Oficina de Gerencia del Proyecto tendrá la necesidad de familiarizarse con el Proyecto de la Central Termoeléctrica ISCC, sobre todo en lo relacionado con su empleo o utilización y en su mantenimiento.

2.6 Especificación Técnica de la Central Termoeléctrica ISCC.

La Oficina de Gerencia del Proyecto preparará y someterá a aprobación la Especificación Técnica de la Central Termoeléctrica ISCC, en la que participarán personal experto, cubriendo todas las áreas de especificación.

La Especificación de la Central Termoeléctrica ISCC detallará los siguientes extremos:

1. ALCANCE
2. DOCUMENTOS APLICABLES
3. REQUERIMIENTOS
 - 3.1 Definición de la Central Termoeléctrica ISCC.
 - 3.2 Características Técnicas
 - 3.3 Requerimientos Específicos de los Sistemas, Componentes, Edificios e Infraestructuras
 - 3.4 Diseño y Fabricación
 - 3.5 Obra Civil y Edificación
 - 3.6 Personal y Entrenamiento

3.7 Pruebas Pre-Operacionales

3.8 Documentación

3.9 Implantación de la Organización de Operación y Mantenimiento

3.10 Demostración Operativa

3.11 Logística

3.12 Operación y Mantenimiento de la Central

4. GARANTIA DE CALIDAD

5. PROGRAMA DE DEMOSTRACIÓN OPERATIVA.

6. TRATAMIENTO DE CAMBIOS.

2.7 Atribución de los Requerimientos de la Central y Especificación Técnica de sus Unidades Funcionales

La Oficina de Gerencia del Proyecto atribuirá los requerimientos de la Especificación de la Central Termoeléctrica ISCC a sus Unidades Funcionales y, una vez atribuidos, preparará la Especificación Técnica de la Unidad del Ciclo Combinado y la Especificación Técnica de la Caldera Solar.

2.8 Actuaciones Preliminares en el Emplazamiento la Central Termoeléctrica ISCC.

Con anterioridad a la celebración de los contratos para la adquisición de las unidades principales de la Central Termoeléctrica ISCC (Ciclo Combinado y Caldera Solar), se han de llevar a cabo todos los acuerdos que aseguren al Promotor el derecho a ubicar la Central Termoeléctrica ISCC en el emplazamiento previsto.

Los acuerdos habrán de establecer las responsabilidades relativas a las obras de preparación del emplazamiento.

2.9 Licitación de las Unidades Principales (Ciclo Combinado; Caldera Solar) de la Central Termoeléctrica ISCC.

La Oficina de Gerencia del Proyecto preparará los documentos de Solicitud de Propuestas para licitar la adquisición de las Unidades Principales de la Central Termoeléctrica ISCC.

La Solicitud de Propuestas para contratar la adquisición y el emplazamiento operativo de las Unidades Principales de la Central Termoeléctrica ISCC incluirán los elementos esenciales siguientes:

1. La Especificación de la Unidad Principal de la Central Termoeléctrica ISCC;
2. Las Instrucciones para la Preparación de la Propuesta, que incluirá instrucciones para preparar las propuestas de gestión, técnica, logística, económica, etc.;
3. La Formulación del Alcance de los Trabajos, definiendo las realizaciones que acometerán en virtud del contrato;
4. La Lista de Documentos Requeridos al Contratista, definiendo toda la documentación que se entregará en virtud del contrato.

El Contratista de la Unidad del Ciclo Combinado será también responsable de la Integración Funcional de la Unidad del Ciclo Combinado y las demás unidades de la Central.

2.10 Preparación de Propuestas para Contratar las Unidades Principales (Ciclo Combinado y Caldera Solar) de la Central Termoeléctrica ISCC.

Los licitantes pertinentes deberán preparar su correspondiente Propuesta en respuesta a la correspondiente Solicitud de Propuesta, siguiendo las instrucciones de ésta.

La Propuesta estará constituida por las secciones siguientes:

- 1.- Alcance del Suministro y los Servicios
- 2.- La Descripción Técnica de la correspondiente Unidad Principal.
- 3.- Información Logística
- 4.- Plan y Programa de Ejecución
- 5.- Gerencia de los Trabajos del Contrato
- 6.- Términos y Condiciones
- 7.- Propuesta Económica

2.11 Admisión y Evaluación de las Propuestas para Contratar las Unidades Principales (Ciclo Combinado; Caldera Solar) de la Central Termoeléctrica ISCC.

La Oficina de Gerencia del Proyecto efectuarán los análisis internos suficientes hasta que la tenga la convicción que las propuestas correspondientes para cada Unidad Principal cumplen con las expectativas deseadas. Asimismo determinará el licitante recomendado para adjudicar cada uno de los contratos.

2.12 Negociaciones y Perfeccionamiento del Contrato de las Unidades Principales (Ciclo Combinado y Caldera Solar) de la Central Termoeléctrica ISCC.

Una vez completamente evaluada la propuesta para la adquisición de cada Unidad Principal de la Central ISCC, se llevará a cabo un proceso de negociaciones, hasta culminar en una base firme para contratar y lanzar su ejecución.

2.13 Definición y Contratación de Servicios de Ingeniería de Apoyo a la Gerencia del Proyecto.

La Oficina de Gerencia del Proyecto definirá y contratará los Servicios de "Ingeniería" que, para el desarrollo del complemento de la Central Termoeléctrica ISCC, sean necesarios dotarse.

2.14 Planificación de la Organización para la Administración, la Operación, el Mantenimiento y el Apoyo Logístico de la Central Termoeléctrica ISCC.

La Oficina de Gerencia del Proyecto preparará un Plan Preliminar o Básico de la Estructura Organizativa para la explotación de la Central Termoeléctrica ISCC, con el detalle necesario para apoyar el proceso de implementación de la Central Termoeléctrica ISCC.

2.15 Acuerdos con las Entidades Propietarias y/o Administradoras de los Sistemas de Interconexión de la Central Termoeléctrica ISCC.

Las condiciones de interconexión de la Central Termoeléctrica ISCC con otros sistemas o redes (Red Eléctrica, Confederación Hidrográfica, Repsol, ENAGAS, etc.), quedarán recogidas en los acuerdos entre el Promotor y las entidades titulares de los correspondientes sistemas o redes. Estos acuerdos se habrán de llevar a cabo lo antes posible, con objeto de que las condiciones y los requerimientos de interconexión queden reflejados en el diseño de la Central Termoeléctrica ISCC.

2.16 Los Estudios Técnicos de la Central Termoeléctrica ISCC.

La Oficina de Gerencia del Proyecto llevará a cabo los siguientes Estudios Técnicos de la Central Termoeléctrica ISCC, cuyos resultados formarán parte del marco técnico de la realización y la evaluación de la Central Termoeléctrica ISCC:

- 1.- Especificación del estudio geotécnico del subsuelo para determinar y localizar las cimentaciones.
- 2.- Selección de la disposición general de la Central Termoeléctrica ISCC.
- 3.- Desarrollo detallado del concepto operacional y las alternativas de funcionalidad.
- 4.- Estudio y selección del nivel de automatización.
- 5.- Análisis de comprobación del cumplimiento de los requerimientos.
- 6.- Optimización del ciclo termodinámico.
- 7.- Optimización de la refrigeración de la Central Termoeléctrica ISCC.
- 8.- Estudio y definición del sistema de transmisión de la potencia eléctrica generada.
- 9.- Estudio y definición del tratamiento de aguas.
- 10.- Estudio y definición del tratamiento de efluentes líquidos.
- 11.- Estudio y definición de la disposición de las escorias.
- 12.- Estudio y definición de las áreas de peligrosidad.
- 13.- Estudio y definición de la protección contra incendios.
- 14.- Estudio y definición del suministro de aire de instrumentación.
- 15.- Estudio y definición del suministro del aire de planta.



- 16.- Estudio y definición del suministro de gas natural.
- 17.- Estudio y definición del suministro y manejo del carbón.
- 18.- Estudio y definición del suministro y distribución del gasoil.
- 19.- Estudio y definición del suministro de agua a la Central Termoeléctrica ISCC.
- 20.- Estudio y definición del control de emisiones atmosféricas.
- 21.- Estudio y definición de la distribución de potencia eléctrica a media tensión.
- 22.- Estudio y definición de la distribución de potencia eléctrica a baja tensión.
- 23.- Estudio y definición de la distribución de corriente continua.
- 24.- Estudio y definición de la distribución de potencia eléctrica segura.
- 25.- Estudio y definición de la distribución de potencia eléctrica vital.
- 26.- Estudio y definición del sistema eléctrico de emergencia.
- 27.- Estudio y definición del sistema de puesta a tierra.
- 28.- Estudio y definición del alumbrado exterior.
- 29.- Estudio y definición del alumbrado de los edificios.
- 30.- Estudio y definición de la telefonía y megafonía.
- 31.- Estudio y definición de la automatización de las operaciones.
- 32.- Estudio y definición del tratamiento electrónico de la información.
- 33.- Estudio y definición de la red de vigilancia atmosférica.
- 34.- Estudio y definición de la ventilación, calefacción y acondicionamiento de aire de los edificios y demás infraestructuras.
- 35.- Estudio y definición de los servicios generales de edificios.
- 36.- Estudio y definición de la protección industrial de la Central Termoeléctrica ISCC.
- 37.- Estudio y definición de los accesos.

2.17 Estructura de Desagregación de los Trabajos de Realización del Complemento de la Central Termoeléctrica ISCC.

La Oficina de Gerencia del Proyecto preparará la Estructura de Desagregación de los Trabajos de Realización del Complemento de la Central Termoeléctrica ISCC (Power Unit Balance of Plant Work Breakdown Structure), con un nivel de detalle que resulte adecuado para apoyar las actividades del proceso de desarrollo de su diseño.

2.18 Índice de Archivo del Proyecto.

La Oficina de Gerencia del Proyecto preparará el Índice del Archivo del Proyecto, que contendrá y reflejará todos los aspectos de la Implementación de la Central Termoeléctrica ISCC. El Índice del Archivo del Proyecto deberá seguir la pauta básica siguiente:

1. **INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO.**
2. **DIRECCIÓN, GERENCIA Y ORGANIZACIÓN.**
3. **ANTECEDENTES.**
4. **SECCIÓN TÉCNICA.**
 - 4.1 Enfoque Técnico.
 - 4.2 Especificación Técnica de la Central.
 - 4.3 Especificación de las Unidades Principales.
 - 4.4 Especificación General del Complemento de la Central Termoeléctrica ISCC.
 - 4.5 Estudios.
 - 4.6 Descripción de Sistemas.
 - 4.7 Diagramas de Ingeniería.
 - 4.8 Planos de la Central Termoeléctrica ISCC.
 - 4.9 Especificaciones de Adquisición.
 - 4.10 Informes Técnicos.
 - 4.11 Actas de Revisión del Diseño.
 - 4.12 Estado de la Configuración.
 - 4.13 Propuestas de Cambios de Ingeniería.
 - 4.14 Actas del Comité de Control de Cambios.
 - 4.15 Garantía de Calidad.
 - 4.16 Fiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad.



5. **SECCIÓN FINANCIERA.**
6. **PLANES Y PROGRAMAS.**
7. **AUTORIZACIÓN DE TRABAJOS.**
8. **EVALUACIONES E INFORMES.**
9. **COMUNICADOS Y DIRECTIVAS.**
10. **CONTROL DE HABILITACIONES DEL PROYECTO (PROJECT SECURITY)**

2.19 Documentación de la Definición del Marco Gerencial, Técnico y Contractual.

La Oficina de Gerencia del Proyecto archivará todos los documentos generados durante esta fase, conforme con el Sistema de Archivo establecido.

2.20 Aprobación de la Definición del Marco Gerencial, Técnico y Contractual.

La Oficina de Gerencia del Proyecto someterá a la aprobación de la Comisión de Revisión, Evaluación y Control los documentos de Definición del Marco Gerencial, Técnico y Contractual, Órgano que deberá aprobarlos para poder iniciar la fase subsiguiente.

3. Adquisición y emplazamiento operativo de la Central Termoeléctrica ISCC.

Esta fase cubre todas las actividades que se ejecutan a partir de la adjudicación del Contrato de Suministro y Emplazamiento Operativo de las Unidades Principales de la Central Termoeléctrica ISCC (Ciclo Combinado; Caldera Solar) hasta que se transfiere la responsabilidad de la Central Termoeléctrica ISCC a la Dirección de Explotación, estando ya finalizadas las pruebas de comprobación de la construcción y las pruebas pre-operacionales de la Central ISCC.

3.1 Gerencia del Proyecto.

Esta Actividad incluye todas las acciones de planificación, organización, dirección, coordinación, control y aprobación administrativa / contractual, que se requieren para el cumplimiento de los objetivos globales del proyecto, que no estén asociadas al desarrollo específico de los componentes de la Central Termoeléctrica ISCC o que no estén incluidas en la actividad de Ingeniería de Sistemas. Incluye:

3.2 Lanzamiento y Ejecución de los Contratos de Adquisición y Emplazamiento Operativo de las Unidades Principales de la Central ISCC.

Ambas empresas contratadas serán respectivamente responsables de desempeñar las actividades gerencia y garantía de calidad de los trabajos del contrato, necesarios para suministrar y emplazar la correspondiente unidad principal, e incluirán las actividades siguientes, relativas al correspondiente Contrato:

- ingeniería;
- diseño;
- análisis de seguridad fiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, protección, ergonomía, etc;
- acopio o fabricación de componentes;
- integración y pruebas en fábrica;
- expedición al emplazamiento;
- emplazamiento operativo, comprobación y pruebas
- suministro; equipo auxiliar requerido
- documentación del contrato;

- asistencia técnica en el emplazamiento.

3.3 Control de la Ejecución de los Contratos de Adquisición y Emplazamiento Operativo de las Unidades Principales de la Central ISCC.

La Oficina de Gerencia del Proyecto controlará, evaluará y aprobará o, en su caso, tomará las medidas correctoras pertinentes, la ejecución de los Contratos. Para ello:

- Efectuará el análisis, la revisión y la aprobación de la documentación técnica elaborada por los suministradores que, respectivamente, refleja el diseño y los requerimientos de interfaz de la correspondiente unidad principal;
- Efectuará el seguimiento, la activación y la inspección de la fabricación, la expedición, el transporte al emplazamiento y la entrega de los equipos y los componentes de la correspondiente unidad principal;
- La inspección de los equipos y los componentes de la correspondiente unidad principal a su entrega en el emplazamiento y durante su almacenaje hasta el momento de su emplazamiento operativo.
- El seguimiento, la activación y la inspección en el emplazamiento y las pruebas pre operacionales de los equipos y los componentes de la correspondiente unidad principal,
- La aceptación provisional de la correspondiente unidad principal.

3.4 Gestión de la Configuración de la Central ISCC.

La Oficina de Gerencia del Proyecto llevará a cabo la Gestión de la Configuración de la Central Termoeléctrica ISCC, actividad que incluye:

- Establecer y mantener actualizadas las sucesivas REFERENCIAS de la Configuración de la Central Termoeléctrica ISCC, es decir la documentación técnica que define las características funcionales, físicas y de interfaz de la Central Termoeléctrica ISCC en los HITOS de Control señalados;
- Llevar a cabo las Revistas y Auditorias Técnicas relacionadas con el establecimiento de las Referencias;
- Tramitar los cambios, que se propongan a la Configuración de la Central Termoeléctrica ISCC.

La Oficina de Gerencia del Proyecto establecerá cinco hitos fundamentales en el desarrollo de la Configuración de la Central Termoeléctrica ISCC, que se denominarán respectivamente:



- 1.- Referencia de los Requerimientos de la Central Termoeléctrica ISCC;
- 2.- Referencia Funcional de la Central Termoeléctrica ISCC;
- 3.- Referencia de Desarrollo de la Central Termoeléctrica ISCC;
- 4.- Referencia Previa de Realización de la Central Termoeléctrica ISCC;
- 5.- Referencia de Realización Terminada (As built) de la Central Termoeléctrica ISCC.

3.5 Licencias y Autorizaciones.

Esta actividad la Oficina de Gerencia del Proyecto se refiere al esfuerzo técnico y de gestión para solicitar, documentar, seguir, contestar requerimientos y obtener todas las licencias, autorizaciones y declaraciones necesarias para la Construcción y Explotación de la Central Termoeléctrica ISCC. Incluye la coordinación de la Oficina de Gerencia del Proyecto con todos los contribuyentes al proceso de Implementación de la Central y los participantes en la preparación del Informe de Seguridad, el informe de Impacto Ambiental, etc.

3.6 Desarrollo del Diseño de la Central Termoeléctrica ISCC.

Esta actividad se refiere al desarrollo de la definición y el diseño de los edificios, infraestructuras, subsistemas funcionales, equipos, tuberías, instrumentos, cableados, instalaciones varias, etc de la Central completa. Incluye las subactividades de: Establecimiento de Criterios; Ingeniería Básica o Preliminar; Ingeniería de Detalle; Planes de Garantía de Calidad; Análisis y Evaluación de Propuestas Técnicas; y Revisión/Aprobación de la Información Técnica de Suministradores o Proveedores.

3.7 Licitación, Adjudicación y Administración de Contratos.

Esta actividad de la Oficina de Gerencia del Proyecto se refiere a la gestión de todas las transacciones que involucran la adquisición de suministros y servicios y la realización de obras y trabajos para la implementación de la Central Termoeléctrica. Además de las acciones de: Exploración y Precualificación de Suministradores y Proveedores; Gestión de Licitaciones, Contrataciones, Pedidos y Compras; Administración de Contratos, Órdenes de Compra y Pedidos; Recepción, Distribución y Archivo de la Documentación Comercial; y Apoyo Logístico y General al Proyecto.

3.8 Suministro del Resto de los Equipos y Subsistemas de la Central Termoeléctrica ISCC.

Esta actividad incluye los trabajos realizados por los suministradores y proveedores de sistemas, equipos, componentes, etc para la Central Termoeléctrica ISCC. Incluye:

- 1.- El Diseño de Detalle de Equipos y Componentes;
- 2.- El Programa de Fiabilidad y Mantenibilidad;
- 3.- El Programa de Calidad;
- 4.- El Acopio y Ensayo de Equipos y Componentes;
- 5.- La Fabricación e Integración en Factoría o Taller;
- 6.- Los Ensayos en Fábrica;
- 7.- La Documentación del Suministro;
- 8.- La Preparación para la Expedición y Carga en Vehículo de Transporte;
- 9.- El Transporte al Emplazamiento.

3.9 Construcción de la Central Termoeléctrica ISCC.

Esta actividad se refiere a todos los trabajos realizados en el emplazamiento, hasta que gradualmente se finaliza la construcción de la Central Termoeléctrica ISCC y se obtienen la Habilitación de Seguridad para proceder al Programa de Pruebas Pre-Operacionales y la Puesta en Marcha. Incluye:

- Las Actividades Previas;
- La Preparación del Emplazamiento y las Excavaciones;
- La Obra Civil;
- La Instalación y/o Montaje de Equipos Permanentes de la Central Termoeléctrica ISCC;
- La Instalación de Tuberías, los Trabajos de Soldadura, las Pruebas Hidráulicas, Operaciones de Limpieza y Aislamiento;
- La Instalación de los Sistemas Eléctricos, los Sistemas de Instrumentación y Control, los sistemas de Comunicaciones y los Sistemas de Tratamiento de Datos;
- El Despeje de la Construcción.

3.10 Revisión, Verificación y Aceptación de los Trabajos de Implementación de la Central ISCC.

La actividad de Revisión, Verificación y Aceptación se llevará a cabo con la doble finalidad de asegurarse objetivamente:

1. Que los trabajos de implementación de la Central Termoeléctrica ISCC (diseño, fabricación, construcción, integración y pruebas), efectuados por las empresas contratadas cumplen los requerimientos establecidos en correspondientes pliegos de condiciones (prescripciones) técnicas; y
2. Que de la Central Termoeléctrica ISCC cumple con todos los requerimientos especificados y, consecuentemente, tiene las cualidades funcionales, técnicas y de calidad para cumplir perfectamente la misión para la que se implementa.

3.11 Entrenamiento del Personal de Operación y Conservación de la Central Termoeléctrica ISCC.

Esta actividad incluirá las tareas relacionadas con el objetivo de disponer del personal necesario para la operación y la conservación de la Central Termoeléctrica ISCC, comprendiendo:

- 1.- Elaboración y Aprobación de los Planes y Programas de Entrenamiento.
- 2.- Designación de la Estructura Inicial de Operación.
- 3.- Desarrollo de Documentos para el Entrenamiento.
- 4.- Desarrollo y/o adquisición de Medios de Entrenamiento.
- 5.- Provisión y realización del Entrenamiento Externo o Previo.
- 6.- Familiarización del Personal con el Proyecto.
- 7.- Entrenamiento en la Central Termoeléctrica ISCC.

3.12 Planificación del Sistema de Apoyo Logístico de la Central Termoeléctrica ISCC.

La Planificación del Apoyo Logístico incluye identificar los recursos, los materiales, los repuestos, las operaciones de mantenimiento y la organización para el Apoyo Logístico de la Central Termoeléctrica ISCC.

El Plan diferenciará el apoyo logístico temporal requerido durante el transporte y manejo, la instalación y las pruebas del apoyo logístico requeridos durante la operación de la Central Termoeléctrica ISCC.

Esta actividad incluirá las tareas relacionadas con el objetivo de disponer de la organización, el personal y los medios técnicos para efectuar el Apoyo Logístico de la Central Termoeléctrica ISCC, comprendiendo:

- 1.- Redacción del Plan de Apoyo Logístico para la Central Termoeléctrica ISCC.
- 2.- Designación de la Estructura Inicial de Apoyo Logístico de la Central Termoeléctrica ISCC.
- 3.- Integración del Apoyo Logístico en el Diseño de la Central Termoeléctrica ISCC.
- 4.- Ejecución del Plan de Apoyo Logístico de la Central Termoeléctrica ISCC.
- 5.- Adquisición de los Repuestos Iniciales.
- 6.- Verificación de la Documentación Técnica de la Central Termoeléctrica ISCC.
- 7.- Entrenamiento de la Estructura Inicial de Mantenimiento.
- 8.- Planes para la Transferencia de la Responsabilidad de Mantenimiento.
- 9.- Adquisición de Herramientas y Equipo de Apoyo.

3.13 La Seguridad de la Central Termoeléctrica ISCC

La Oficina de Gerencia del Proyecto llevará a cabo un Programa de Análisis de Seguridad de la Central Termoeléctrica ISCC, consistente en la identificación y la resolución de los riesgos de accidentes a los pueda estar expuesta.

La Oficina de Gerencia del Proyecto será responsable directamente del Análisis de Seguridad global de la Central Termoeléctrica ISCC, sin embargo descargará responsabilidad exigiendo a las empresas contratadas que las infraestructuras fijas, los sistemas funcionales, las instalaciones auxiliares, los equipos, etc., hayan diseñado de acuerdo con los requerimientos de seguridad incluidos en los correspondientes contratos. Consecuentemente la Oficina de Gerencia del Proyecto deberá establecer en los documentos de licitación de los contratos de diseño, suministro o construcción del Proyecto, requisitos relativos a la elaboración de análisis de seguridad que, una vez recibidos y evaluados, los empleará para efectuar el Análisis de Seguridad de la Central Termoeléctrica ISCC.



Para asegurarse la Oficina de Gerencia del Proyecto de que los diseños se ajustan a los requerimientos de seguridad aplicables, ésta requerirá que las empresas contratadas establezcan y lleven a cabo, respectivamente, una revisión independiente de la seguridad de las infraestructuras fijas, los sistemas funcionales, las instalaciones auxiliares, los equipos correspondientes. En ciertos casos podrá exigir que la revisión de seguridad sea efectuada por una entidad independiente. En cualquier caso la Oficina de Gerencia del Proyecto requerirá el informe y el acta de las revisiones de seguridad.

El programa de Análisis de Seguridad incluye: (a) la identificación de los riesgos de accidente; (b) el análisis de los riesgos identificados; y (c) la resolución apropiada para cada riesgo.

Como resultado del programa de Análisis de Seguridad, la Oficina de Gerencia del Proyecto elaborará un Informe Preliminar o Básico de Seguridad de la Central Termoeléctrica I ISCC y un Informe Final de Seguridad de la Central ISCC.

- El **Informe Preliminar o Básico de Seguridad** cumplirá con los requisitos legales para que el Órgano de la Administración que corresponda emita, en su caso, la autorización que faculte a la entidad promotora ejecutar los trabajos de construcción de la Central Termoeléctrica ISCC en el emplazamiento elegido.
- El **Informe Final de Seguridad** cumplirá con los requisitos legales para que el Órgano de la Administración que corresponda emita, en su caso, la autorización que faculte a la entidad promotora poner en uso y operar la Central Termoeléctrica ISCC.

3.14 Comprobación Conexiones Externas de la Central Termoeléctrica ISCC.

Esta actividad se refiere a la comprobación de que las interfaces de la Central Termoeléctrica ISCC con los Sistemas Externos, con los que necesariamente ha de estar conectada para su Puesta en Uso, se encuentran en disponibilidad de ser operadas.

3.15 Integración Operativa de la Central Termoeléctrica ISCC.

Esta actividad se refiere a la integración de las unidades y los sistemas funcionales, los equipos, las instalaciones auxiliares, los edificios, infraestructuras, etc. que, a pesar de adjudicarse su realización a diferentes contratistas independientes, es preciso asegurarse que sus respectivos procesos individuales de realización se lleven a cabo en la forma de un programa coherente y, asimismo, que todos esos elementos se integran y constituyen la Central Termoeléctrica ISCC íntegra, cumpliendo todos los requerimientos y criterios especificados para la misma.

3.16 Las Pruebas Pre Operacionales de la Central Termoeléctrica ISCC.

Las Pruebas Pre Operacionales de la Central Termoeléctrica ISCC consisten en:

- Las Pruebas de Comprobación del Montaje.
- Las Pruebas de Integración en el Emplazamiento
- Las Pruebas Funcionales
- Las Pruebas de Aceptación

3.17 Los Preparativos para la Puesta en Uso de la Central Termoeléctrica ISCC.

Esta actividad se refiere las tareas que tienen por objeto preparar los planes, los procedimientos y los programas de explotación de la Central Termoeléctrica ISCC. Asimismo, tendrá por objeto asegurar la disponibilidad de la Central Termoeléctrica ISCC para iniciar su explotación comercial.

3.18 Análisis, Evaluación y Control del Cumplimiento Contractual.

Esta actividad se refiere a las reuniones periódicas que mensualmente convocará la Oficina de Gerencia del Proyecto, con objeto de realizar una Revista de Evaluación de cada Contrato Mayor del Proyecto, para analizar el Cumplimiento del correspondiente Programa de Trabajos. En ellas, se analizarán y cubrirán todos los aspectos de los contratos, incluyendo: aspectos técnicos, de programación, consumo, aplicación de recursos, logros de realización, los problemas surgidos de la situación del Proyecto y las previsiones futuras.

La pauta a seguir en cada Revista de Evaluación de los Contratos Mayores, estará correlacionada con la Estructura de Desagregación de los Trabajos del Contrato; la lista de Documentos a entregar por el Contratista; y el Calendario Básico de Hitos. Además incluye las reuniones periódicas, que tendrán lugar trimestralmente, con objeto de llevar a cabo una Evaluación del Proyecto en la que se analizará el grado de Cumplimiento de los Programas de Trabajos. Asistirán los Responsables de cada una de las "Franjas de la Realización de la Central" (Macro tareas). Estos previamente habrán recogido las incidencias y situación de los programas de los contratistas, relativos a su franja específica.



3.19 Documentación de la Fase Adquisición y Emplazamiento Operativo de la Central Termoeléctrica ISCC.

Esta actividad se refiere a la definición, organización y adquisición de todos los documentos requeridos y generados durante la Fase de Adquisición y Emplazamiento Operativo de la Central Termoeléctrica ISCC. Se considerarán varias categorías de documentos, a saber: Publicaciones; Documentos de Ingeniería; Documentos de Gestión; Documentos de Apoyo Logístico; y Documentos Reservados.

3.20 Aprobación de la Fase Adquisición y Emplazamiento Operativo de la Central Termoeléctrica ISCC.

La Oficina de Gerencia del Proyecto someterá a la aprobación de la Comisión de Revisión, Evaluación y Control los documentos de la Fase de Adquisición y Emplazamiento Operativo de la Central Termoeléctrica ISCC, Órgano que deberá aprobarlos para poder iniciar la Fase de Puesta en Uso y Evaluación Operativa.

4. Puesta en uso y evaluación operativa de la Central Termoeléctrica ISCC.

En esta fase, que comienza al término de las Pruebas Pre-Operacionales de los Sistemas y Equipos de la Central Termoeléctrica ISCC. Se ejecutarán, de forma gradual y ascendente, los Acuerdos y Planes para la Transición de Responsabilidad y la Puesta en Uso de la Central Termoeléctrica ISCC, que fueron elaborados en la fase anterior. Asimismo, se llevarán a cabo las tareas residuales de ingeniería y se corregirán todas las deficiencias encontradas.

La Fase de Puesta en Uso y Evaluación Operativa incluye:

- La Ejecución de los Planes de Transferencia de la Responsabilidad
- La Liberación de la Organización para las Pruebas Pre-operacionales.
- La Puesta en Vigor del Plan de Apoyo Externo para la Puesta en Uso, la Operación Inicial y las Pruebas Operacionales.
- El Entrenamiento en la Central Termoeléctrica ISCC del Personal de Explotación.
- El Permiso Administrativo para la Puesta en Uso y la Operación de la Central Termoeléctrica ISCC
- La Ejecución de la Puesta en Uso de la Central Termoeléctrica ISCC.
- La Ejecución de la Evaluación Operativa de la Central Termoeléctrica ISCC.
- La Verificación de las Garantías Técnicas de los Contratistas del Proyecto.
- La Liquidación de los Contratos del Proyecto de la Central Termoeléctrica ISCC.
- El Cierre del Proyecto.
- El Archivo del Proyecto

4.1 Ejecución de los Planes de Transferencia de la Responsabilidad.

Una vez finalizadas con éxito las Pruebas Pre Operacionales de las Unidades Funcionales de la Central Termoeléctrica ISCC, se efectuará paulatinamente su Transferencia a la Dirección de Explotación, a cuya finalización deberá quedar provista de toda la documentación de la ingeniería de los sistemas, equipos y demás elementos constitutivos de la Central Termoeléctrica ISCC, que sea necesaria para operar y conservar la Central Termoeléctrica ISCC.

La Dirección de Explotación asumirá la responsabilidad de custodia, operación y conservación de la Central Termoeléctrica ISCC a partir de la Transferencia de Responsabilidad.



La Oficina de Gerencia del Proyecto y la Dirección de Explotación deberán elaborar conjuntamente el Programa de la Transferencia en el que se optimice la duración del proceso.

4.2 Liberación de la Organización para las Pruebas Pre-operacionales.

A medida que se concluyen las Pruebas Pre Operacionales de las Unidades Funcionales, los Sistemas o los Equipos de la Central Termoeléctrica ISCC y se efectuará la Transferencia de Responsabilidad a la Dirección de Explotación, se dará licencia a los equipos que respectivamente participen en las Pruebas Pre-operacionales.

4.3 Puesta en Vigor del Plan de Apoyo Externo para la Puesta en Uso, la Operación Inicial y las Pruebas Operacionales de la Central ISCC.

La Dirección de Explotación pondrá en vigor los Acuerdos y Planes, preparados durante la Fase de Adquisición y Emplazamiento Operativo de la Central Termoeléctrica ISCC, que le proporcionen el soporte técnico requerido para suplementar la plantilla de personal de operación y conservación de la Central Termoeléctrica ISCC.

4.4 Entrenamiento del Personal de Operación y Conservación en la Central ISCC.

A la finalización de las Pruebas Pre Operacionales, la Plantilla Inicial de la Central ISCC no habrá recibido un entrenamiento profundo sobre las características y el funcionamiento de la Central Termoeléctrica ISCC. Sin embargo, la plantilla Inicial no será suficiente en número para la explotación de la Central ISCC ni tampoco dispondrá de experiencia viva en los procedimientos de explotación de la misma. Por consiguiente se inicia su entrenamiento en la Central Termoeléctrica ISCC.

4.5 Las Pruebas Operacionales de la Central Termoeléctrica ISCC.

Esta actividad se refiere a la ejecución del Programa de Pruebas Operacionales de la Central Termoeléctrica ISCC que, fundamentalmente incluye:

- La Prueba de Cumplimiento de las Prestaciones Técnicas (Performance Test) de la Central Termoeléctrica ISCC.
- La Demostración Operativa de la Central Termoeléctrica ISCC.

La **Prueba de Cumplimiento de las Prestaciones** Técnicas (Performance Test) de la Central Termoeléctrica ISCC se llevarán a cabo en su entorno operativo y tendrá por objeto verificar que cumple las prestaciones especificadas.

Durante la Demostración Operativa, se operará continuamente la Central Termoeléctrica ISCC a plena capacidad 720 horas, en estricta conformidad con los Procedimientos de Operación y Mantenimiento, sin que ocurran fallos.

También, durante la Demostración Operativa de la Central Termoeléctrica ISCC se recogerán, analizarán y se presentarán los datos que justifiquen el cumplimiento de los requerimientos establecidos en las Especificaciones Técnicas del Proyecto. En caso contrario, la Gerencia de Proyecto deberá requerir la corrección de aquellos elementos defectuosos al correspondiente contratista o los correspondientes contratistas del proyecto, que corresponda.

4.6 El Permiso Administrativo para la Puesta en Uso y la Operación de la Central ISCC.

La Oficina de Gerencia del Proyecto solicitará la correspondiente Autorización Administrativa para la Puesta en Uso y Operación de la Central Termoeléctrica ISCC incluyendo la preparación de todos los documentos necesarios para ello.

El Órgano competente de Administración para autorizar la operación de la Puesta en Uso y Operación de la Central Termoeléctrica ISCC exigirá realizar las Pruebas Oficiales de la Central ISCC o, alternativamente, presenciara las Pruebas de la Central Termoeléctrica ISCC, realizadas directamente por la Dirección de Explotación. Asimismo exigirá y evaluará el Informe Final de Seguridad de la Central Termoeléctrica ISCC, como condición previa para emitir la citada autorización.

4.7 La Puesta en Uso de la Central Termoeléctrica ISCC.

Una vez que la Dirección de Explotación cuente con la Autorización Administrativa para operar la Central Termoeléctrica ISCC, la Dirección de Explotación ejecutará el Programa de Puesta en Uso de la Central Termoeléctrica ISCC e inicia su operación. Durante el período de Operación Inicial, la Plantilla recibirá un entrenamiento adicional en los procedimientos operativos, a la vez que se entrenará más personal hasta cubrir las necesidades de la Central Termoeléctrica ISCC.

4.8 Evaluación Operativa de la Central Termoeléctrica ISCC.

Esta actividad se refiere a la ejecución del Programa de Evaluaciones Operacionales de la Central Termoeléctrica ISCC que, fundamentalmente incluirá:

- La Medida de los Efectos Beneficiosos de la Central Termoeléctrica ISCC sobre el Impacto Ambiental y el Ahorro de Combustible;
- El Análisis de Fiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad Operativa de la Central Termoeléctrica ISCC.

El Programa de Análisis de Fiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad Operativa de la Central Termoeléctrica ISCC, tendrá por objeto asegurar el cumplimiento de los requisitos de FMD establecidos en la Especificación de la Central Termoeléctrica ISCC.

4.9 Verificación de las Garantías Técnicas de los Contratistas.

El final de esta fase se verificarán las garantías de las Empresas Industriales contratadas para la realización y la evaluación operativa de la Central Termoeléctrica ISCC, con especial énfasis en las garantías de consumo energético, disponibilidad y mantenibilidad emitidas por los Contratistas del proyecto.

4.10 Liquidación de los Contratos.

La liquidación de cada contrato seguirá el proceso siguiente:

- Elaboración del Plan y el Calendario de la Liquidación.
- Elaboración de la Lista de Comprobaciones. (Check List).
- Atribución de Responsabilidades durante la Liquidación.
- Acta de Liquidación.
- Fijación, en su caso, de las Garantías Post-Liquidación.
- Elaboración del Informe Post-Liquidación.

4.11 Cierre del Proyecto.

La Oficina de Gerencia del Proyecto cerrará el proyecto con la preparación y presentación del Informe Final del Proyecto, que incluirá:

- Resumen del proceso global de la realización y la evaluación operativa de la Central Termoeléctrica ISCC.
- Datos y causística de la fase de ejecución.
- Evaluación del rendimiento operativo.
- Informe de mantenibilidad y disponibilidad operativa durante el primer periodo en servicio.
- Identificación y descripción de mejoras recomendadas.

4.12 Archivo del Proyecto.

La Oficina de Gerencia del Proyecto enviará al Archivo General de la Empresa toda la documentación generada durante el Proyecto de la Central Termoeléctrica ISCC.

Conclusiones



Conclusiones

Se ha concluido:

1. Se ha conseguido un modelo del campo solar que ha posibilitado calcular la energía al fluido de trabajo (aceite térmico), para todas las condiciones de intensidad e inclinación solar. Resultando ser la potencia máxima por lazo 984kW.
2. Se han demostrado y cuantificado el ahorro de combustible y la reducción de CO₂ y gases nocivos de una Central Termoeléctrica ISCC en función del tamaño del campo solar, teniendo en cuenta las limitaciones impuestas por el fabricante de la caldera recuperadora.
3. El análisis económico de la Central Termoeléctrica en conjunto, es totalmente rentable, pudiéndose recuperar la inversión en 20 años. Aunque como se vio en el capítulo anterior, la integración de la caldera solar reduce los beneficios, es una tecnología relativamente nueva con altos costes de fabricación y diseño, la cual tiene un alto potencial de mejora, que se espera reduzcan sus costes según se madure.

Sin embargo, al analizar los costes de generación, distinguiendo entre la energía generada a partir de la combustión del gas natural y la generada a partir de la radiación solar, el coste de generación de la energía a partir de la radiación solar, es inferior al de una Central Termosolar.

Además, se han cuantificado las ayudas que se necesitarían para que la integración de la caldera solar aumentara los beneficios de la Central Termoeléctrica ISCC.

4. El Plan de Implementación de la Central Termoeléctrica ISCC ha demostrado que su desarrollo y construcción no presenta dificultades con relación, al desarrollo y construcción de otro tipo Central Termoeléctrica. Además pone de manifiesto:

La necesidad de establecer quince macrotareas para lograr un buen control de la realización.

Contratar tempranamente los sistemas fundamentales (ciclo combinado y caldera solar) para los contratistas faciliten los criterios para el diseño del resto de subsistemas y equipos (balance of plant design criteria)

Es importante asignar al contratista de ciclo combinado, que es el elemento generador de energía eléctrica, la integración de todos los subsistemas y equipos en el ciclo combinado.



Es importante incluir la macro tarea “autorizaciones y licencias administrativas” para asegurarse que la Central Termoeléctrica ISCC cumple con los requerimientos de las Administraciones Públicas con jurisdicción sobre la Central Termoeléctrica ISCC.

Trabajos futuros

En cuanto a esta tecnología de Central Termoeléctrica ISCC, cabe esperarse que al igual que en las Centrales Termosolares, los fluidos de trabajo de la caldera solar sean sales fundidas, con las que se puede trabajar a mayor temperatura, aumentando el rendimiento del ciclo de vapor. Además, estas sales posibilitan el almacenamiento de las mismas a altas temperaturas, siendo más estable la operación de este tipo de plantas y produciendo energía de fuente solar durante más hora.

También cabe esperarse, que se sustituya la naturaleza de la caldera solar, pasando de emplear colectores cilíndrico-parabólicos a torres solares. Esto es debido a que se están mejorando los diseños del receptor y la orientación del campo de helioestatos, reduciendo los problemas de stress térmico que presentaban.

Bibliografía

- (1) Handbook for Cogeneration and Combined Cycle Power Plants.
Meherwan P. Boyce
- (2) Solar Energy Engineering: Processes and Systems
Sosteris A. Kalogirou.
- (3) Solar Energy: The State of the Art
Morrison, G.L.
- (4) Libro Ingeniería Solar
Pedro Fernández Díez
- (5) La electricidad solar térmica, tan lejos tan cerca.
Valeriano Ruiz.
- (6) Solar-engineering-of-Thermal-processes-
Duffie-Beckman.
- (7) Solar multiple optimization for a solar-only thermal power plant, using oil as heat transfer fluid in the parabolic through collectors.
M.J. Montes, A. Abánades, J.M. Martínez-Val, M.Valdés.
- (8) Metodología Post Industrial de Gerencia de Proyectos.
Pedro Cerrato Guerra
- (9) XSteam, programa de Matlab para el cálculo de las propiedades del agua.
Magnus Holmgren.
- (10) ISCC.m script de Matlab realizado por mí, con el que se realizan todos los cálculos, incluido en la documentación del proyecto.
- (11) B.O.E. Real Decreto-ley 1/2012

Páginas Web

- (12) http://www.nem-group.com/EN/projects/solar_power/6/al_kuraymat/8/
Página web del fabricante de calderas recuperadoras HRSG, NEM,
- (13) <http://es.scribd.com/doc/34122907/15PG-09-YT-to-IBE-001-Combined-Cycles> .
Presentación del proyecto ISCC de Kuraymat, Iberdrola.

- (14) <http://www.fichtnersolar.com/>
Página web de empresa participante ISCC Kuraymat.
- (15) Página web oficial de General Electric.
- (16) Página web oficial de Siemens.
- (17) <http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/Radiacion/radiacion2.php>
Agencia andaluza de la energía.
- (18) <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>
Datos meteorológicos de la NASA.
- (19) <http://www.omie.es/inicio>
Mercado de la energía.
- (20) <http://www.ree.es/>
Operador del sistema eléctrico español.
- (21) <http://www.therminol.com/pages/products/sas/vp-1.asp>
Fabricante aceite térmico.
- (22) <http://www.protermosolar.com/boletines/32/mapa.html>
Asociación energía termosolar
- (23) Imágenes de google.